

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра електричної інженерії та кібернетичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему: Запроєктування системи управління процесом підготовки води для установок виробництва пари в умовах промислових підприємств

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1511

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)

Стеценко Максим Костянтинович

(ім'я та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Овчинникова З. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. ректора П.В. Ігоря Залуженко, к.т.н.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2022

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

Кафедра електричної інженерії та кібернетичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 151 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології“⁽¹⁾
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри В. Дідо
« 14 » грудня 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Стоєцьку Максиму Костянтинівичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Ураховуючи системи управління процесом підготовки води для установок виробництва пари в умовах промислових підприємств

керівник роботи Віденківська Ірина Іванівна, канд. техн. наук, доцент.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » грудня 2022 року № 597-С

2 Строк подання студентом роботи 05.12.2022р.

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) оптимізація управління котельною установкою; моделювання системи автоматизованого управління; оптимізація управління котельною установкою; моделювання системи автоматизованого управління; розробка структурної схеми автоматизації; розробка пульту оператора

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

технологічна схема модульної котельної, винос до сай модульної котельної, блок-схема алгоритму управління моделі системи автоматизованого регулювання у зв'язці і дослідження регулювання температура котла, конструкція контролера.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання вистав	завдання прийняв
1	Винникова З.І., доц.	<i>Щербак</i>	<i>Щербак</i>
2	Винникова З.І., доц.	<i>Щербак</i>	<i>Щербак</i>
3	Винникова З.І., доц.	<i>Щербак</i>	<i>Щербак</i>
4	Винникова З.І., доц.	<i>Щербак</i>	<i>Щербак</i>

7 Дата видачі завдання 02 червня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Визначення особливостей технологічного процесу нагрівання води	04.07 - 24.07.2022р.	Виконано
	Знаходження систем автоматизації котельних установок	25.07 - 14.08.2022р.	Виконано
	Побудова математичної моделі	15.08 - 04.09.2022р.	Виконано
	Зробка інтерфейсу автоматизованої системи	05.09 - 25.09.2022р.	Виконано
	Зробка технічного завдання	26.09 - 16.10.2022р.	Виконано
	Зробка функцій надійності системи	17.10 - 06.11.2022р.	Виконано
	Зробка презентації роботи, проходження курсової роботи	07.11 - 27.11.2022р.	Виконано
	Підготовка доповіді	27.11 - 10.12.2022р.	Виконано

Студент

Щербак
(підпис)

Стеценко М.К.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

Щербак
(підпис)

Винникова З.І.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

Щербак
(підпис)

Винникова З.І.

(ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1 Принцип роботи модульної котельної установки	10
1.2 Оптимальне управління котельною установкою.....	14
1.3 Постановка задачі.....	17
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ	20
3 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	29
3.1 Розробка структурної схеми автоматизації	29
3.2 Вибір контролера.....	30
3.3 Розробка пульту оператора	34
3.4 Розробка графічного інтерфейса з користувачем	37
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ	40
4.1 Розробка структури SCADA- системи.....	40
4.2 Встановлення зв'язку між мікроконтролером і SCADA-системою	41
4.3 Відображення технологічного процесу в режимі реального часу	42
4.4 Розробка програмного забезпечення.....	44
5 ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ САУ	49
5.1 Оцінка надійності розробленої САУ.....	49
5.2 Оцінка перспективності розробки.....	53
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	55
6.1 Основні положення охорони праці	55
6.2 Загальні заходи з охорони праці.....	56
6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП.....	60
6.4 Охорона навколишнього середовища	63
7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	65
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації	65
7.2 Розрахунок техніко - економічних показників	66
7.2.1 Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	67

	5
7.2.2 Річні витрати на ЗП	68
7.2.3 Амортизаційні нарахування	69
7.2.4 Річні витрати на ремонт	69
7.2.5 Витрати електроенергії на живлення	69
7.2.6 Інші витрати	70
7.2.7 Річна економія експлуатаційних витрат	70
ВИСНОВКИ	75
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	77

ВСТУП

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

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

Розробка та застосування блочно-модульних газових котельних установок пов'язано з їх автономністю, мобільністю, швидкістю установки та виготовлення. Їх застосування призначене для опалення, постачання пари та гарячим водопостачанням виробничі підприємства, житлові комплекси, сільськогосподарських об'єктів. У зв'язку з широкою сферою застосування всі частіше на ринку з'являються нові технології, спрямовані на підвищення ефективності, працездатності, надійності та безпеки газових блочно-модульних котелень. Зменшення ручного управління технологічним процесом, контроль за усіма важливими параметрами технологічного процесу і вимог охорони праці є актуальним науково-технічним завданням, яке зараз фактично неможливо вирішити без автоматизації відповідних процесів керування та оптимізації процесу виробництва пари блочно-модульними котельними на вже існуючих виробництвах.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: розробити систему автоматизованого управління блочно-модульною котельнею із застосуванням SCADA-системи.

Об'єкт дослідження: блочно-модульна котельня.

Предмет дослідження: технологічний процес виробництва пари блочно-модульною котельнею.

Відповідно до поставленої мети досліджень в роботі сформульовані наступні задачі:

- дати коротку характеристику об'єкта управління та принципу його функціонування;
- дослідити технології забезпечення оптимального управління котельною установкою;
- розробити математичну модель блочно-модульної котельної;
- спроектувати систему автоматичного управління температурою та продуктивністю котлів;
- розробити структурну схему автоматизації та обрати елементи системи управління і контролер;
- провести вибір алгоритмів керування і розробку програмного забезпечення;
- розробити пульт оператора та графічний інтерфейс користувачів;
- розробити структуру SCADA-системи та програмне забезпечення для неї;
- проаналізувати надійність спроектованої системи;
- розглянути організацію охорони праці, проаналізувати умови праці, визначити заходи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів;
- виконати розрахунок економічного обґрунтування проекту і визначити економічну ефективність впровадженої АСУТП.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методи математичного моделювання для дослідження базується на використанні аналітичних методів термодинаміки для досліджень закономірностей теплового балансу котельних установок, методи теплотехніки для встановлення закономірностей, що описують технологічний процес виробництва пари котлів, що працюють на природному газі, теорії автоматичного керування, математичне моделювання для дослідження процесу виробництва пари і керування даним процесом, механіки і гідравліки при розробці системи управління керуючими механізмами.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Проведений ґрунтовний аналіз технологічних і функціональних задач системи водопідготовки котельних, що дозволив сформулювати вимоги до системи керування водопідготовкою котельної, а також побудувати канали керування процесом водопідготовки.

2. Розроблені методи синтезу системи автоматичного управління, які поєднує в собі відповідні технологічні процеси і споруди для поліпшення якості води при застосуванні вибраних апаратних і програмних засобів типу SCADA-систем.

3. Проведена ідентифікація параметрів математичної моделі об'єкту керування та моделювання процесів регулювання в середовищі MatLab Simulink дозволили налаштувати параметри ПД регулятора, який забезпечує пере регулювання не більше 7%, стійкість до збурень 2%. Час перехідного процесу складає 30 с. Час перерегулювання 3,33 с. Після дії ступінчастої дії на 55 с час перехідного процесу складає 18 с, а отже система задовольняє прямим і непрямим показником якості.

4. Розроблене програмне забезпечення гнучкі параметри системи управління блочно-котельною установкою на основі ПЛК дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації, а також швидко проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що за допомогою методів синтезу багатовимірних систем розроблена автоматизована система управління процесом водопідготовки, яка дасть змогу підвищити ефективність виробництва пари за рахунок впровадження відповідних регуляторів на важливих стадіях процесу, а також організації безаварійної роботи обладнання в результаті застосування вибраних апаратних і програмних засобів типу SCADA- систем. Також для синтезу багатовимірної системи на прикладі системи управління водопідготовки котельної використані методи

програмно-технічного забезпечення автоматизованої ресурсозберігаючої роботи такої системи управління, досліджені фактори забезпечення якості очищення в середовищі Matlab - Simulink

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Теоретичні та наукові дослідження виконані автором самостійно. Його особистий внесок полягає в тому, що наведені методи синтезу багатовимірних систем управління можуть застосовуватися як для технічних, так і для технологічних об'єктів. В даній роботі передбачається, що автоматизація процесу водопідготовки на базі розроблених алгоритмів роботи системи та сформованих каналів зв'язку дасть змогу підвищити ефективність виробництва пари за рахунок впровадження відповідних регуляторів на інших стадіях процесу водоочищення, а також організації безаварійної роботи обладнання в результаті застосування вибраних апаратних і програмних засобів типу SCADA- систем.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Матеріали магістерської роботи були повідомлені та обговорені на наукових конференціях інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету.

СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 48 найменувань і вміщує 78 сторінок основного тексту, 8 таблиць, 15 рисунків усього 80 сторінок.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Принцип роботи модульної котельної установки

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.

Модульні котельні установки - це невеликі котельні, що складаються з кількох модулів, які консолідуються за місцем установки. Дані котельні можуть працювати на різних типах палива, як газ, мазут. Найбільш поширеним видом палива для таких котельних установок є природний газ.

Блочні модульні котельні (далі БМК) в наш час є найбільш популярним і ефективним варіантом рішення нагального питання тепlopостачання. Високий попит на ці котельні установки пояснюється, насамперед, мобільністю конструкції, автономністю й зручністю експлуатації в цілому.

У блочних модульних котелень можна виділити такі важливі переваги в порівнянні з аналогічними системами:

1. Можливість створення установок різної потужності. Продуктивність БМК можна варіювати в широких межах.

2. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів. Для стін, даху і підлоги, а також окремих елементів системи застосовуються досить ефективні матеріали, які дозволяють значно знизити втрати тепла.

3. Поставка заводом котельні в повній готовності, в зібраному вигляді. Це дозволяє виконати монтаж установки за мінімальний час. Витрати на цю операцію також невеликі. Потреби для використання вантажопідійомних механізмів мінімальні. Збірка котельні може тривати від дня до місяця, залежно від конфігурації і складності устаткування.

4. Низький вага котельні, що дозволяє встановлювати її на простий

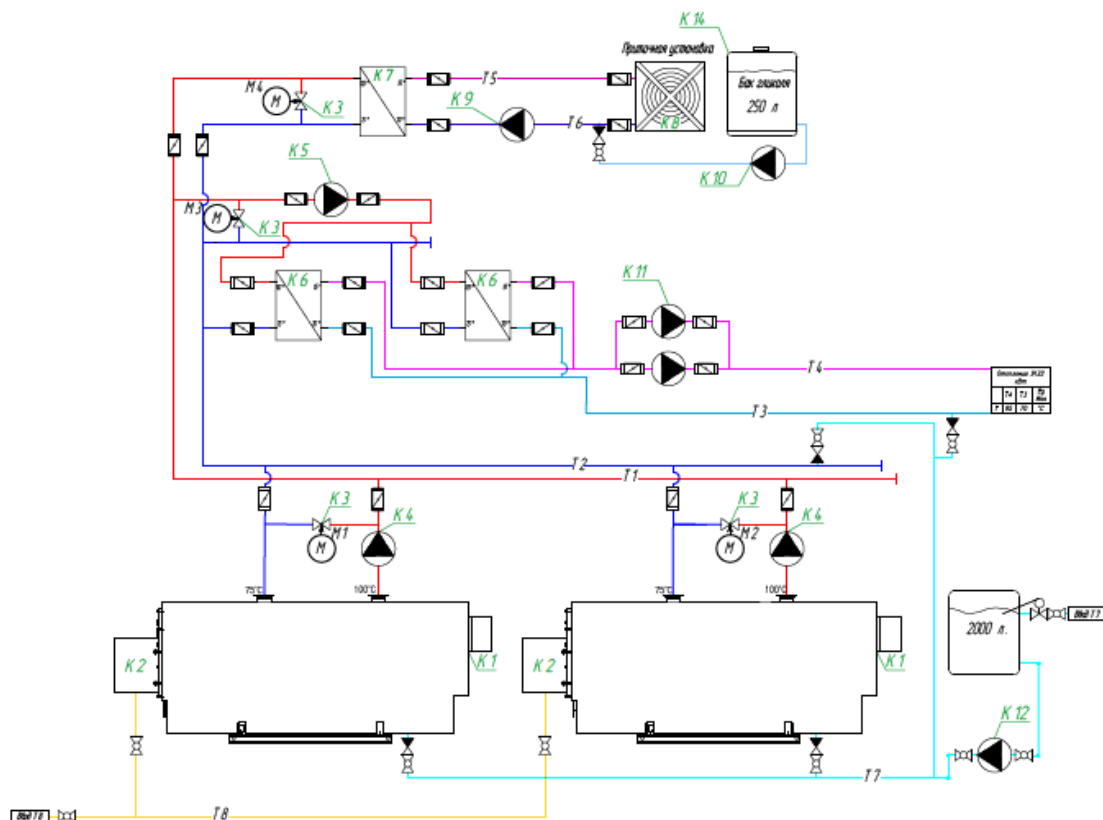
фундамент і навіть без нього. Площадка повинна бути досить рівною, здатної витримати вагу БМК і не мати значних переміщень ґрунту. Фундамент необхідний, коли створюється димова труба висотою більше 10 м. У такому випадку труба пропускається через дах блоку і для неї зводиться опорна конструкція. В інших випадках для монтажу можна використовувати піщану подушку, яка покривається гравієм або навіть кам'янистим будівельним сміттям.

5. Можливість транспортування. Якщо котельню потрібно перемістити, то досить від'єднати лінії комунікації і демонтувати виступаючу частину димаря. У тому випадку, коли котельня включає в себе кілька блоків, потрібно їх роз'єднання. На такі роботи, в залежності від складності установки, потрібно 1 - 2 дні.

6. Повна автоматизація. Це робить непотрібним обслуговуючий персонал. Для контролю над станом і роботою установки встановлено велику кількість датчиків. Є система зовнішнього оповіщення, яка інформує про відхилення від запрограмованих параметрів роботи.

В цілому, витрати на придбання, монтаж та експлуатацію БМК нижче в порівнянні з традиційними рішеннями, а унікальні можливості значно розширюють сферу її використання. Їх застосування призначене для опалення, постачання пари та гарячим водопостачанням виробничі підприємства, житлові комплекси, сільськогосподарських об'єктів. Завдяки продуманості системи та єдиним стандартам, які розроблені сучасними конструкторами, монтаж і встановлення мобільних котелень проводяться в стислі строки й цілком можуть бути виконані протягом доби. Наступне обслуговування при цьому вимагає мінімальної кількості зусиль, адже процес повністю автоматизований. Не малозначною є й можливість вибору палива, яке можна використовувати: вугілля, пелети, дрова, газ. У зв'язку з широкою сферою застосування всі частіше на ринку з'являються нові технології, спрямовані на підвищення ефективності, працездатності, надійності та безпеки газових модульних котелень.

Технологічна схема модульної котельної на природному газі наведено на рисунку 1.1.



- T1 — Трубопровід подачі котлового контуру
- T2 — Зворотний трубопровід котлового контуру
- T3 — Зворотній трубопровід опалення
- T4 — Трубопровід подачі опалення
- T5 — Трубопровід подачі гліколю
- T6 — Зворотний трубопровід гліколю
- T7 — Трубопровід підживлення
- T8 — Введення газопроводу

Рисунок 1.1 - Технологічна схема модульної котельної на природному газі

Позначення на схемі:

K1 - котел водогрійний;

K2 - газовий пальниковий пристрій;

K3 - затвор з електроприводом;

- К4 - насос котла;
- К5 - насос завантаження теплообмінників опалення;
- К6 - теплообмінник опалення;
- К7 - теплообмінник вентиляції;
- К8 - припливне встановлення;
- К9 - насос циркуляції гліколю;
- К10 - насос підживлення гліколю;
- К11 - насос циркуляції опалення;
- К12 - насос підживлення;
- К13 - бак запасу гліколю;
- К14 - бак запасу води.

Вихідна вода подається з колодязя чи центральної магістралі водопостачання на спеціальні водопідготовчі установки. Вода винна відповідати вимогам, які відображені в паспорті на котлові агрегати. позиція К1. Після водопідготовчих установок вода трубопроводом Т7 подається у бак запасу води позиція К14. Бак ємністю дві тисячі літрів оснащений механічним рівнемірором з клапаном, при зниженні рівня води в баку відкривається клапан і здійснюється наповнення бака до заданого рівня. Після заповнення бака, приступають до заповнення котлових агрегатів, котлового та мережевого контуру за допомогою насосів підживлення позиція К12.

Циркуляція теплоносія в котловому контурі здійснюється з за допомогою котлових насосів позиція К4 та насоса завантаження теплообмінника мережі позиція К5.

Для підігріву води в мережевому контурі використовуються два теплообмінники позиція К6. Обидва теплообмінники знаходяться в робочому режимі для підтримки значень температури згідно з заданими значеннями, у трубопроводі подачі Т4 температура повинна підтримуватись у межах від 90 до 100 °С. У зворотному трубопроводі мережі Т3 температура повинна підтримуватися в межах від 70 до 75 °С.

Після заповнення всіх апаратів та контурів здійснюється запуск котельні. Спочатку запускаються пальники позиція K2 і здійснюють нагрівання води у котлових агрегатах. Після того, як температура всередині котлових агрегатів досягла заданого значення, запускаються котлові насоси та насос завантаження теплообмінника опалення. Електроприводи позиція M1 і позиція M2 служать захисту котлового агрегату від перегріву.

Вода за допомогою насосів циркуляції опалення K11 здійснюють циркуляцію води від котельні до споживача по трубопроводу T4 і назад трубопроводом T3.

Приточне встановлення позиція K8 необхідна для підтримки заданої температури в приміщенні котельні та здійснює постійний приплив повітря необхідне функціонування пальникових пристроїв. Теплоносієм для припливної установки є гліколь. Бак запасу гліколю розрахований на 250 літрів, після заповнення бака запасу здійснюється заповнення контуру циркуляції гліколю через зворотний трубопровід гліколю T6 за допомогою насоса підживлення гліколю позиція K10. Після заповнення контуру гліколь циркулює за контуром за допомогою насоса циркуляції позиція K9.

У випадку, коли знадобляться додаткові потужності, оперативно проводиться монтаж і настроювання нових модулів. Таким чином, пересувні котельні на рідкому паливі підходять для будь-яких видів діяльності та всіх типів об'єктів. Вони можуть функціонувати в режимі як самостійного джерела тепла, так і резервної системи.

1.2 Оптимальне управління котельною установкою

Одним з кращих шляхів, що гарантує ефективну експлуатацію котельної, є високоефективне регулювання, яке можливо застосувати і для парових, і для водогрійних котельних. Високоефективне регулювання дозволяє заощадити в середньому від 4 до 5 % використуваній тепловій енергії і окупається протягом року.

Відомо, що при певному співвідношенні витрат повітря і палива відбувається якнайповніше згорання усередині казана. При цьому слід добиватися ведення топкового процесу з мінімальною кількістю надмірного повітря, проте за обов'язкової умови забезпечення повного згорання палива. Якщо в топку подається надмірне повітря в більшій кількості, чим потрібний для нормального ведення топкового процесу, то зайве повітря не згорає і лише марно охолоджує топку, що може у свою чергу повісті до втрат унаслідок хімічної неповноти згорання палива.

Необхідно також контролювати температуру газів, що йдуть. При завищеній температурі димових газів на виході з казана значно знижується ККД агрегату за рахунок викиду в атмосферу зайвої теплоти, яку можна було б використовувати за призначенням. У теж час при роботі на рідких видах палива не можна допускати зниження температури димових газів на виході з казана нижче 140 °С при вмісті в паливі сірі не більше 1 % і нижче 160 °С при вмісті в паливі сірі не більше 2-3 %. Значення даних температур обумовлені точкою роси для димових газів. При цих температурах починається процес випадання конденсату в димогарних трубах і димозбірної камері. При контакті міститься в паливі сірі з конденсатом унаслідок хімічної реакції утворюється спочатку сірчиста, а потім сірчана кислота. Результатом чого є інтенсивна корозія поверхонь нагріву.

Для досягнення більшої ефективності високоточного регулювання необхідно заздалегідь провести базисне очищення топкі і димарів. Для зменшення надмірного повітря і зменшення температури газів, що йдуть, необхідно:

- усунути негерметичність камери згорання;
- провести контроль тяги димаря, при необхідності встановити в димарі шибер;
- підвищити або знизити номінальну потужність казана, що підводиться;
- вести контроль відповідності кількості повітря для горіння;
- оптимізувати модуляції пальника (якщо пальник забезпечений цією

функцією).

Для газових котлів за допомогою газового лічильника і секундоміра можна з'ясувати, чи подається до пальника необхідна кількість палива. Якщо казан працює на мазуті, то перевіряється, чи відповідає витрата, зміряна витратомірним соплом, і тиск, що створюється мазутним насосом, відповідними для ефективної роботи казана.

Для оцінки ефективності згорання використовується аналізатор газів, що йдуть. Вимірювання проводяться до і після регулювання.

Найбільш відповідними для високоефективного регулювання є казани з надувними газовими топками і мазутними топками. Менш відповідними є казани з комбінованими пальниками для двох видів палива, а також газові казани з атмосферними пальниками.

Для комбінованих пальників режим для одного виду палива часто є компромісом для збереження працездатності на іншому виді палива. А регулювання газових казанів з атмосферним пальником обмежене технічним регламентом і фізичними характеристиками устаткування.

1. Регулювання пропусками.

Для чавунних казанів в опалювальних системах при регулюванні тепловіддачі в систему опалювання по температурі внутрішнього повітря в контрольному приміщенні будівлі (регулювання «по відхиленню») воно може здійснюватися за рахунок періодичного відключення системи (регулювання «пропусками») за допомогою температурного датчика. Це дозволить економити від 10 до 15 % споживаній тепловій енергії і окупиться протягом двох років.

Для сталевих котлів такий спосіб регулювання температури води небажаний. З погляду характеристик міцності для сталевого котла великий температурний перепад нестрашний, але експлуатувати казан з температурою води в зворотному трубопроводі (на вході в казан) нижче 55 °С не слід. Річ у тому, що при такій температурі котельної води температура димових газів в місцях зіткнення із стінкою димогарної труби може опинитися нижче за температуру точки роси, що викличе випадання конденсату на стінках

димогоарних труб і приведе до їх передчасної корозії. Тому частіше застосовують регулювання температури води за допомогою триходового клапана з температурним датчиком, мінус цього способу - довгий термін окупності, від 5 років і вище. Як альтернативу можна застосувати регулювання пропусками у поєднанні з термостатичним датчиком температури зворотної води. Такий спосіб менш економічний і окупиться протягом 4-5 років.

2. Регулювання виключенням.

У повсюдній практиці осінню з настанням опалювального періоду служба експлуатації запускає систему опалювання і вимикає тільки навесні. Це приводить до того, що навіть в теплі дні казан не відключається і продовжує працювати. Автоматичне регулювання виключенням досягнувши зовнішньої температури $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ може зберегти від 3 до 5 % споживаній тепловій енергії і окупиться за 2-3 роки.

3. Регулювання циклів котла

Якщо робота котла регулюється «пропусками» залежно від температури зовнішнього повітря, часто виникає наступна проблема: у перехідні періоди, коли зовнішня температура протягом доби різко змінюється, цикл включення/виключення казана зазвичай короткий, труби і опалювальні прилади не встигають як слід прогрітися і це приводить до недогрівання будівлі; взимку ж, коли холодна температура тримається постійно, цикл включення/виключення казана надмірно довгий, що приводить до зайвого перегріву будівлі. Для усунення цієї проблеми рекомендується встановити контроллер, регулюючий мінімальний і максимальний час включення казана. Це економить від 3 до 5% споживаної теплової енергії і окупиться приблизно за 3 роки.

1.3 Постановка задачі

Автоматизована система керування технологічним процесом модульної газової котельні повинна мати ієрархічну структуру та здійснювати обмін

даними відповідно до стандартизованих протоколів.

Підбір контрольно-вимірювальних приладів виконується згідно аналізу технологічного процесу.

Автоматизована система управління модульною газовою котельні повинна відповідати таким вимогам:

- автоматичне та ручне управління котловими агрегатами;
- автоматичне регулювання температури у котловому контурі;
- автоматичне регулювання температури в контурі опалення;
- автоматичне регулювання температури у контурі припливної вентиляції;
- автоматичний захист насосів від сухого ходу;
- автоматичний захист котлових агрегатів.

Постійна присутність персоналу на котельні не потрібна, згідно нормативним документам. Як правило, достатньо застосування GSM-оповіщувача в якому програмуються аварійні ситуації, при виникненні яких прилад відправляє повідомлення відповідальній особі.

Цей спосіб автоматизації не забезпечує належну якість тепла, що відпускається, та збільшує терміни простою.

З метою зменшення ручного втручання в управління модульної котельної розробляється SCADA-система, яка повинна забезпечувати точність обробки та подання даних, можливість розширення системи, надійність та мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс оператора.

Постійна присутність персоналу з перманентним можливістю контролю поточних параметрів та управління автоматизованої системи забезпечить підвищення надійності роботи котельної установки та забезпечить оперативне усунення або запобігання виникненню аварійної ситуації. Для цього буде здійснено підбір засобів автоматизації у відповідно до вимог SCADA-системи.

На мнемосхемі автоматизованого робочого місця оператора (далі АРМО) повинні відображатися параметри, які представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Параметри технологічного процесу

Параметр	Діапазон вимірювання	Дія
Тиск в котлі №1	(0,1 - 0,6) МПа	Читання і запис
Тиск в котлі №2	(0,1 - 0,6) МПа	Читання і запис
Рівень в котлі №1	(0 - 3) м	Читання і запис
Рівень в котлі №2	(0 - 3) м	Читання і запис
Температура води в котлі № 1	(0 - 100) °С	Читання і запис
Температура води в котлі № 2	(0 - 100) °С	Читання і запис
Температура подачі котлового контуру	(0 - 100) °С	Регулювання, читання і запис
Тиск в контурі котла	(0,1 - 0,6) МПа	Регулювання, читання і запис
Температура подачі мережі	(0 - 100) °С	Регулювання, читання і запис
Тиск до насосів мережі	(0,1 - 0,6) МПа	Регулювання, читання і запис
Тиск після насосів мережі	(0,1 - 0,6) МПа	Регулювання, читання і запис
Тиск в зворотному трубопроводі мережі	(0,1 - 0,6) МПа	Регулювання, читання і запис
Тиск в контурі вентиляції	(0,1 - 0,6) МПа	Регулювання, читання і запис
Температура в приміщенні котельного залу	(0 - 80) °С	Регулювання, читання і запис
Загазованість приміщення котельного залу	(0 - 100) °С	Читання і запис

Висновки. В даному розділі розглянуто принцип роботи модульної котельної, принципи оптимального управління котельною установкою та сформульовані основні задачі розробки АСУ ТП модульної котельної, яка працює на природному газі.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

Розробка алгоритму керування є найважливішою частиною автоматизованої системи керування технологічним процесом. Для реалізації роботи автоматизованої системи керування технологічним процесом було реалізовано такі алгоритми управління:

- алгоритм управління котловим каскадом
- алгоритм регулювання технологічного параметра.

Для керування котловим каскадом було реалізовано наступний алгоритм роботи. Якщо температура в контурі котла опустилася нижче заданого значення, що запускається котловий агрегат з урахуванням деякої затримки часу, що задає оператор. Затримка на включення має бути триваліше, ніж відключення котлового агрегату, це зумовлено елементарною технікою безпеки та умовами експлуатації агрегату. При різкому запуску котлового агрегату, заповненого холодною водою, можна пошкодити стінки котла та розірвати агрегат. При зупинці допустимо використовувати екстрене вимикання.

1. Математична модель системи управління температурою котла.

Об'єктом регулювання у цьому технологічному процесі є температура води у трубопроводі Т4. Теплоносій циркулюючи по трубопроводам Т1 та Т2 за допомогою теплообмінників позиція К6 здійснює нагрівання води в контурі опалення. Контроль температури здійснюється з допомогою датчика температури позиція ТТ-15.

У контурі опалення підтримується значення температури згідно заданому встановленому значенню при перевищенні температури на виході трубопроводу подачі опалення ПЛК видає керуючий вплив на привід виконавчого механізму та здійснює підживлення трубопроводу подачі Т1 із зворотного трубопроводу Т2 тим самим знижуючи температуру перед теплообмінником.

Блок-схема алгоритму представлена на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 - Блок-схема алгоритму управління

Спочатку необхідно розрахувати коефіцієнт передачі двигуна за наступною формулою:

$$k_{\text{дв}} = \frac{\omega_{\text{дв}}}{f_n}, \quad (2.1)$$

де f_n – частота мереж, що живлять;

$\omega_{\text{дв}}$ - номінальна кутова швидкість обертання двигуна.

Виходячи з технічних даних двигуна підставляємо значення формулу 2.1, вираз матиме вигляд:

$$k_{\text{дв}} = \frac{16,23}{50} = 0,32 \frac{\text{об/хв}}{\text{Гц}}.$$

Постійна часу дорівнюватиме $T_{дв} = 0,7$ с. Таким чином, можна записати передатну функцію електродвигуна:

$$W_{дв}(s) = \frac{k_{дв}}{T_{дв} \cdot s + 1}, \quad (2.2)$$

$$W_{дв}(s) = \frac{0,32}{0,7 \cdot s + 1}.$$

Засувка з електроприводом є інтегруючою ланкою, перетворююче ступінь відкриття на температуру. Передатна функція має вигляд:

$$W_k = \frac{1}{s} \quad (2.3)$$

Об'єктом управління є ділянка трубопроводу після теплообмінників К6. Передаточна функція описується аперіодичним ланкою першого порядку з чистим запізненням:

$$W_{тр}(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_0 \cdot s}, \quad (2.4)$$

$$\tau_0 = \frac{L \cdot S}{Q_{вх}}, \quad (2.5)$$

$$T = \frac{2 \cdot L \cdot S \cdot c^2}{Q_{вх}}, \quad (2.6)$$

$$c = \frac{Q_{вч}}{S} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \Delta p \cdot g}}, \quad (2.7)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (2.8)$$

де T - постійна часу;

τ_0 - запізнення;

S - площа перерізу труби;

d - діаметр труби;

L - довжина ділянки трубопроводу між точкою вимірювання та точкою регулювання;

ρ - густина рідини.

Вихідні дані представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані

Діаметр труби d, м	0,01 м
Довжина трубопроводу між датчиком і регулюючим органом L, м	10 м
Об'ємна витрата $Q_{\text{вх}}$, м ³ /ч	45 м ³ /ч = 0,0125 м ³ /с
Перепад тиску Δp , МПа	0,2 МПа = 20394,32 кгс/м ³
Швидкість води в трубопроводі γ , м/с	1,5 м/с
Щільність рідини	997 кг/м ³

Знайдемо площу перетину трубопроводу:

$$S = \frac{3,14 \cdot (0,1)^2}{4} \approx 0,0079 \text{ м}^2.$$

Далі необхідно розрахувати час затримки:

$$\tau_0 = \frac{10 \cdot 0,007}{0,0125} = 5,6.$$

$$c = \frac{0,0125}{0,0079} \cdot \sqrt{\frac{997}{2 \cdot 20394,32 \cdot 9,8}} = 0,079.$$

Далі розрахуємо постійну часу:

$$T = \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,0079 \cdot 0,079^2}{0,0125} = 0,078.$$

Передавальна функція трубопроводу:

$$W_{\text{тр}}(s) = \frac{1}{0,078 \cdot 0,0079 + 1} \cdot e^{-5,6 \cdot 0,0079}$$

Редуктор представлений безінерційною ланкою з коефіцієнтом 0,03. Змодельована модуль системи Simulink представлена рисунку 2.2.

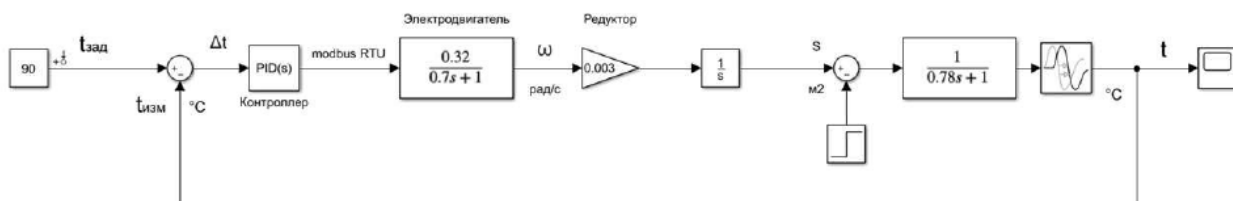


Рисунок 2.2 - Модель системи автоматичного регулювання у Simulink

Далі необхідно налаштувати ПІД-регулятор та підібрати коректні коефіцієнти, при цьому використовуємо засоби математичного пакета Matlab.

Отримані коефіцієнти представлені рисунку 2.3.

Source:	internal
Proportional (P):	55
Integral (I):	0.001
Derivative (D):	150
Filter coefficient (N):	1
Select Tuning Method:	Transfer Function Based (PID Tuner App) Tune...

Рисунок 2.3 - Коефіцієнти ПІД-регулятора

Після налаштування ПІД-регулятора необхідно запустити симуляцію. Покази осцилографа представлені рисунку 2.4.

З показань графіка на рисунку 2.4 випливає, що час перехідного процесу складає 30 с. Час перерегулювання 3,33 с. Після дії ступінчастої дії на 55 секунді час перехідного процесу складає 18 секунд. На підставі вищесказаного слідує висновок, що система задовольняє прямим і непрямим показником

якості, оскільки після відхилення викликаним зовнішнім впливом система знову повертається у одиницю.

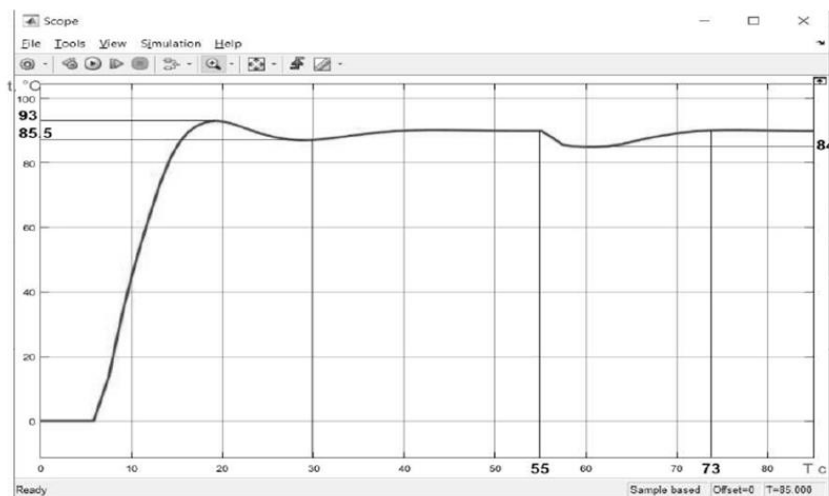


Рисунок 2.4 - Перехідний процес з обурюючим впливом

2. Математична модель системи управління продуктивністю котла.

Аналіз процесів, що відбуваються в контурі регулювання продуктивності, дозволив розробити структурну схему системи керування продуктивністю котла, яка зображена на рис. 2.5.

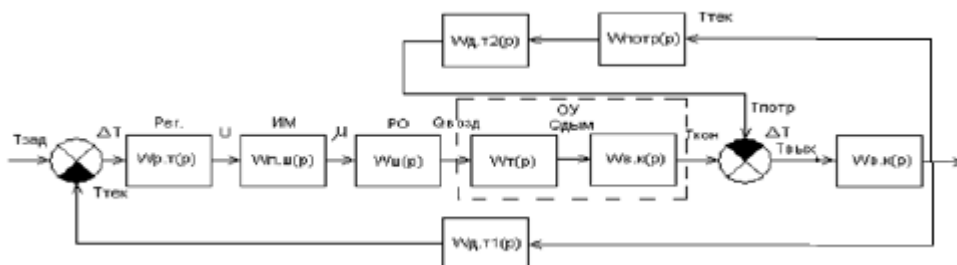


Рисунок 2.5 - Структурна схема системи керування продуктивністю котла:

$W_{p.m.}(p)$ - регулятор температури; $W_{п.ш.}(p)$ - привід шибєрів; $W_{ш}(p)$ - шибєри вентиляторів; $W_T(p)$ - топка; $W_{кв}(p)$ - водогрійний котел (теплообмінник); $W_{ТД1}$ - датчик температури на виході з котла; $W_{ТД2}$ - датчик температури на вході в котел;) $W_{потр}(p)$ - споживачі

Диференціальні рівняння процесів, які у елементах моделіруемой системи управління, представимо як передатних функцій. Передаточна функція привоу транспортера шнекового типу має вигляд:

$$W_{п.ш.}(p) = \frac{k}{T_p + 1} \cdot e^{-pt}, \quad (2.9)$$

Реальні значення величин k , T і τ знаходять із експериментальних даних або конструктивних розрахунків.

Для процесу, що моделюється, розраховані величини параметрів мають значення: $k = 1$, $T = 30$, $\tau = 3$.

Передаточна функція приводу шибера включає підсилювальну ланку і ланку затримки, і має вигляд:

$$W_{п.ш.}(p) = k \cdot e^{-p\tau}, \quad (2.10)$$

Де розрахункові значення характеристик мають такі величини: $k = 0,5$, $\tau = 1$. Процес тепловиділення приблизно може бути описаний рівнянням інерційної ланки першого порядку з передавальною функцією топки:

$$W_T(p) = \frac{k_{QB}}{T_1 p + 1}, \quad (2.11)$$

Розмір T_1 коливається від кількох секунд до кількох десятків секунд залежно від топки, виду палива та інших чинників. Теплова енергія, що виділилася в результаті згоряння палива, сприймається радіаційними та конвективними поверхнями нагріву топки.

Динаміка процесу теплопередачі може бути описана як теплообмінник каналу регулювання температури.

Теплообмінні апарати для спрощення моделювання приймають за послідовне з'єднання двох ланок - першого інерційного порядку і ланки запізнення. Модель котлоагрегату має вигляд:

$$W_{в.к.}(p) = \frac{k}{T_p + 1} \cdot e^{-p\tau}, \quad (2.12)$$

де k - коефіцієнт посилення;

T - постійна часу котла;

τ - запізнення.

Для процесу, що моделюється, розраховані величини параметрів мають значення: $k = 6$, $T = 20$, $\tau = 2$.

Передатну функцію термоелектричного перетворювача (термопари), достатньої для практичних розрахунків, представимо у вигляді:

$$W_{\text{д.к.}}(p) = \frac{m_T}{T_p + 1}, \quad (2.13)$$

де $T_T = 15 - 20$ - стала часу термопари, с;

m_T - номінальний статический коефіцієнт преобразования (крутизна характеристики) термопары, мВ/°С.

На підставі отриманих передавальних функцій побудуємо контур автоматичного регулювання продуктивності котельні. Для дослідження процесів, що протікають у контурах опалювальної котельні, будемо використовувати підсистему Simulink пакету Matlab, структурну схему моделі представлено на рисунку 2.6.

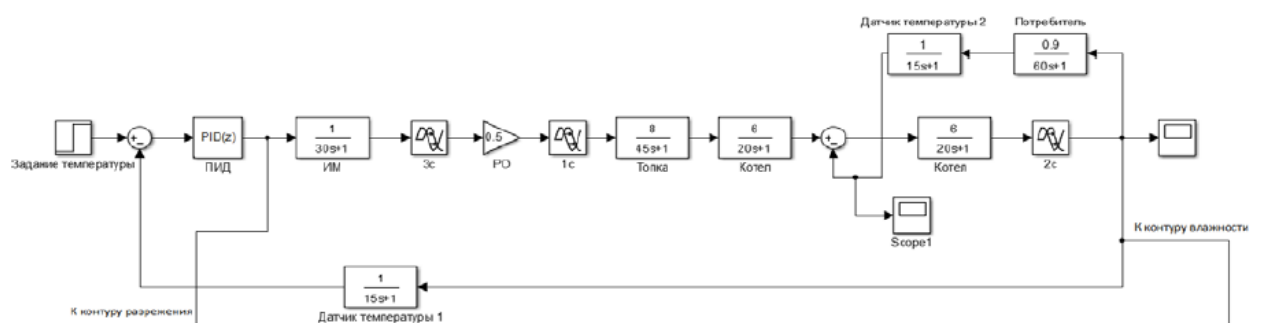


Рисунок 2.6 - Структурна схема моделі контуру регулювання продуктивності котла

Продуктивність котла регулюється за заданим значенням температури води на виході котла. Температура води на виході казана вимірюється за допомогою первинних перетворювачів. З виходу перетворювачів сигнали

подаються на вхід регулятора. При відхиленні зазначеного параметра з виходу надходять сигнали на приводи шиберів вентиляторів.

Графіки перехідних процесів зображено на рисунках 2.7 та 2.8.

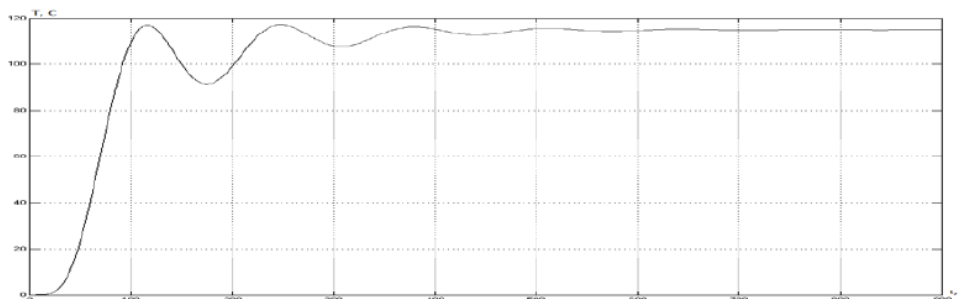


Рисунок 2.7 - Графік перехідного процесу зміни температури води на виході з котлоагрегату опалювальної котельні

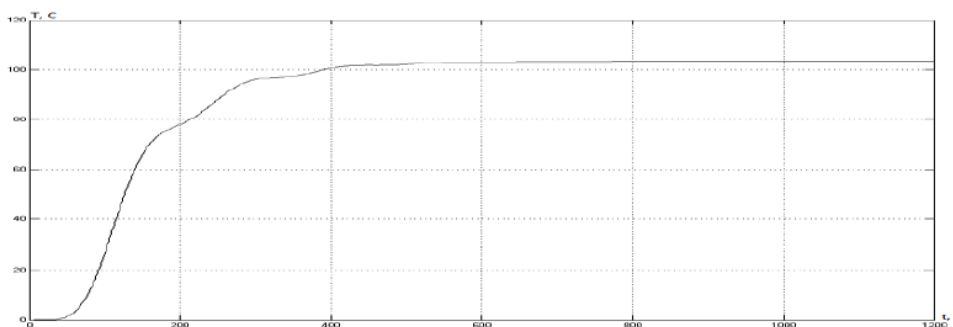


Рисунок 2.8 - Графік перехідного процесу зміни температури води на вході в котлоагрегат опалювальної котельні

Показники якості контуру управління температури на виході з котла мають наступні значення: $t_p = 450$ с, $\sigma = 1\%$, $k = 3$.

Висновки. При проектуванні опалювальних котельних установок, з метою оптимізації структури системи управління і розрахунку параметрів регуляторів, були розроблені математичні моделі системи з багатьма зв'язками управління контурами котлоагрегата модульної котельної. Для дослідження процесів, що протікають в контурах управління були використані підсистему Simulink пакета Matlab. Отримані результати моделювання цілком задовольняють якості регулювання.

3 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

3.1 Розробка структурної схеми автоматизації

Структурні схеми визначають основні функціональні частини виробу, їх призначення та взаємозв'язки та служать для загального ознайомлення з виробом. На структурній схемі розкривається взаємодія між функціональними частинами технологічного процесу. Структурна схема автоматизованої системи складається із трьох рівнів. Перший рівень включає датчики і виконавчі механізми. Другий рівень складається з аналогово-цифрових перетворювачів, пускачів, програмного логічного контролера. Третій рівень включає персональний комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням.

Структурна схема автоматизованої системи управління блочно-модульної котельні установки представлена рисунком 3.1.

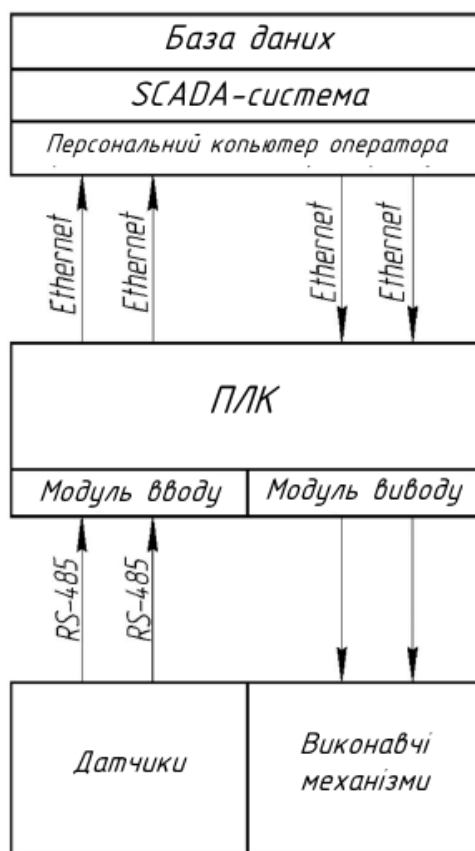


Рисунок 3.1 - Структурна схема автоматизованої системи управління блочно-модульної котельні установки

Засоби автоматизації, за допомогою яких здійснюватиметься управління процесом повинні бути обрані технічно грамотно та економічно обґрунтовано. Конкретні типи автоматичних пристроїв вибирають з урахуванням особливості об'єкта управління та прийнятою схемою управління (місцеве чи централізоване). Насамперед приймають у увагу такі фактори, як пожежонебезпека та вибухонебезпечність, агресивність і токсичність середовищ, кількість параметрів, що беруть участь у управлінні, фізико-хімічні властивості, а також вимоги до якості контролю та регулювання, а саме дальність передачі сигналів інформації від місця встановлення вимірюваних перетворювачів до пунктів контролю та управління.

Для забезпечення технологічних процесів різних галузей промисловості засобами контролю та автоматичного регулювання існує єдина Державна система промислових приладів та засобів автоматизації (ДСП). Тому всі засоби автоматизації, що випускаються в Україні, що визначаються відповідним нормативним документом та включаються до ДСП.

Для реалізації роботи автоматизованої системи керування блочно-модульної газової котельні необхідно вибрати контролер з можливістю встановлення модулів розширення у зв'язку з великою кількістю контрольованих параметрів. Контролер буде глобально управляти всією котельня, звідси вимога до високого ступеня надійності контролера.

Доступність контролера та комплектуючих до нього також впливає на роботу обладнання, у разі виходу з ладу, необхідно у найкоротший термін здійснити ремонт чи заміну обладнання.

3.2 Вибір контролера

Автоматика безпеки котлоагрегатів побудована на базі блоку БАУ-ТП-1, що є мікроконтролером, який може легко адаптуватися для виконання будь-якого завдання в режимі реального часу і використовується для управління процесами розпалення і регулювання тепловиробництва газових або рідинних

пальників. Блок забезпечує управління об'єктом в повній відповідності з нормативними вимогами в об'ємах, необхідних для найбільш ефективної і безпечної експлуатації устаткування.

Забезпечуються автоматичне розпалювання, автоматичне регулювання (по ПІД-закону) з підтримкою необхідних співвідношень (зокрема регулювання співвідношення «газ-повітря» по положенню або по тиску), контроль параметрів з аварійним відключенням у разі відхилень параметрів за встановлені межі.

У блоці прийняті спеціальні заходи, що забезпечують високу перешкодозахисну функціонування в умовах індустриальних перешкод.

Блок дозволяє здійснювати самоконтроль справності (режим «ТЕСТ»), а також змінювати тимчасові, температурні уставки, проводити інвертування входів і ін. (режим «МОНІТОР»).

Блок може виконувати наступні сервісні функції:

- некомерційний розрахунок витрати газу, води (за наявності в системі лічильників газу, води з вимірювальною частиною при цьому лічильники можуть бути дискретними, аналоговими 0 - 5 мА або 4 - 20 мА (лінійними), аналоговими 0 - 5 мА або 4 - 20 мА (з извекателем кореня), м³ і м³/ч;

- розрахунок теплопроизводительности - Гкал і Гкал/ч питома витрата газу - м³/Гкал;

- розрахунок ККД котла;

- ведення журналу аварій: запам'ятовування аварійної ситуації із записом дати і часу;

- підтримка потужності котла а залежно від днів тижня і часу доби;

- підтримка Т води в системі залежно від Т зовнішнього повітря (районний мережевий графік).

Вбудовувана «мережева» плата для зв'язку блоків з диспетчерським пунктом. Зв'язок може здійснюватися на невеликі (до 1 км.) відстані безпосередньо по двопровідній лінії (RS485). Зв'язок на великі відстані здійснюється через модеми і телефонну лінію. При цьому на комп'ютер

диспетчерського пункту з періодичністю встановлюваною диспетчером передається інформація про стан об'єкту, температур, тиску, витрат і так далі. За наявності аварійної ситуації на об'єкті, блоки передають інформацію про наявність аварії, найменування аварії, на якому блоці відбулася аварія.

Вже є працюючі локальні мережі, що забезпечують як контроль стану з диспетчерського пункту, так і безпосереднє управління об'єктами. В даний час ведуться роботи по застосуванню для передачі інформації від блоків на пункт диспетчера стільникового зв'язку стандарту GSM в режимі пакетної передачі даних (GPRS).

Мікроконтролера БАУ-ТП-1 має модульну конструкцію (рис. 3.2). Всі елементи (модулі) сімейства виконані в закритих корпусах єдиного виконання і орієнтовані на установку в шафах.

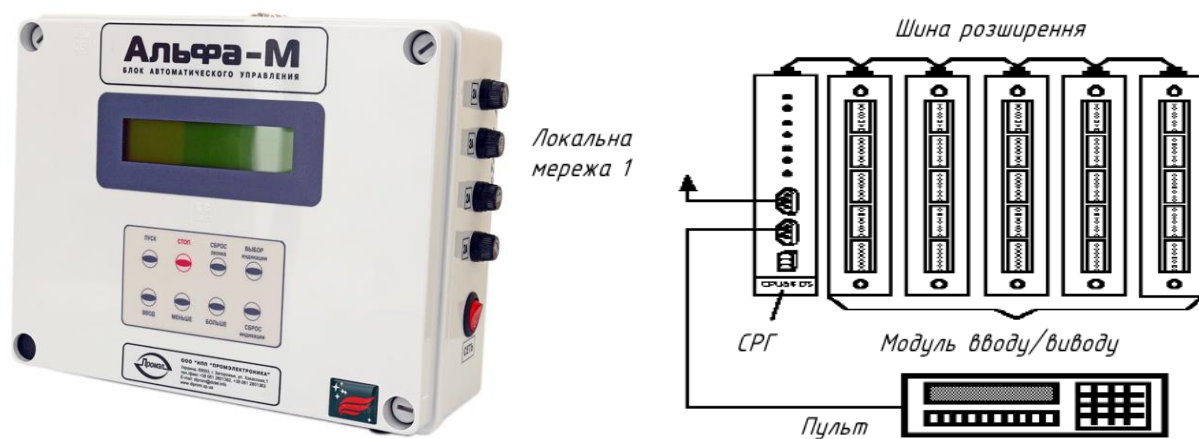


Рисунок 3.2 - Конструкція контролера БАУ-ТП-1 [46]

Приєднання модулів введення/виводу (EXP) до модуля обчислювача (CPU) виконується за допомогою гнучкої шини розширення (плоский кабель) без використання шасі розширення, що обмежує можливості, і що знижує гнучкість при компоновці

До складу даного мікроконтролера входять наступні модулі:

1. Модуль процесора .

CPU-320DS центральний процесор, RAM-96 К, EPROM-32 К, FLASH32 К, EEPROM 512.

2. Модулі введення-виводу.

Vi/o16 DC24 дискретний ввід/вывод, 16/16 =24 В, $I_{вх}=10$ мА, $I_{вых}=0,2$ А;

Vi 32 DC24 дискретне введення, 32 сигнали =24 У, 10 мА;

Vi16 AC220 дискретне введення, 16 сигналів ~220 У, 10 мА;

Vo32 DC24 дискретний вивід, 32 сигналів =24 У, 0,2 А;

Vo16 ADC дискретний вивід, 16 сигналів ~220 У, 2,5 А;

MPX64 комутатор дискретних входів, 64 входи =24 У, 10 мА;

AI-TC 16 аналогових входів від термопар; Ai-NOR/RTD-1 20 аналогових входів і або U;

Ai-NOR/RTD-2 16 входів і або U, 2 термопреобразователей опору;

Ai-NOR/RTD-3 12 входів і або U, 4 термопреобразователей опору;

Ai-NOR/RTD-4 8 входів і або U, 6 термопреобразователей опору;

Ai-NOR/RTD-5 4 входи і або U, 8 термопреобразователей опору;

Ai-NOR/RTD-6 10 термопреобразователей опору;

PO-16 пульт (дисплей - 16 букв, 24 клавіші).

Модулі введення - виводу мають роз'єми введення-виводу із затисками під гвинт, що суміщають функції роз'ємів і клемних з'єднань, які спрощують об'єм устаткування в шафі і забезпечують швидке підключення/ відключення зовнішніх ланцюгів.

3. Пульт оператора.

PO-04 - пульт для установки на щит. ЖКІ- індикатор (2 рядки по 20 знаків), вбудована клавіатура (18 клавіш), можливість підключення 6-ти зовнішніх клавіш, інтерфейс RS232/485, живлення = нестабілізоване 8(15 В;

PO-01 - портативний пульт. ЖКИ - індикатор (2 рядки по 16 знаків), клавіатура, інтерфейс RS485, живлення: а) = 8(15 В; б) батарея.

Для підготовки і відладки прикладних програм автоматизації технологічного устаткування передбачається застосування персонального

комп'ютера (типу IBM PC), що підключається до каналу інформаційної мережі через адаптер AD485.

Підготовка прикладних програм здійснюється на одній з двох мов:

- РКС (мова технологічного програмування, що оперує типовими елементами релейно-контактної логіки і автоуправління;

- АСЕМБЛЕР.

Допускається компоновка програми з модулів, написаних на будь-якій з вказаних мов. При відладці прикладних програм модуля зберігається штатний режим роботи прикладних програм решти модулів і обміну по каналу локальної мережі.

3.3 Розробка пульта оператора

Пульт оператора ОР-04 (далі пульт) призначений для реалізації людино-машинного інтерфейсу (ММІ) в системах контролю і управління виконаних на базі контролерів БАУ-ТП-1, що мають вільно програмований інтерфейс RS485.

Технічні характеристики пульта оператора:

Інтерфейс зв'язку - RS485;

Швидкість зв'язку - програмована з ряду: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 28800, 57600;

Число рядків ЖК індикатора - 2;

Число знаків в рядку - 20;

Висота знаку в рядку - 9,66 мм;

Цифрова клавіатура - 18 клавіш;

Ступінь захисту - IP56;

Напруга живлення - +10(30 В (нестабіліз.) або 5 В (стабіліз.);

Споживана потужність - не більше 2,0 Вт;

Напрацювання на відмову - 100 000 година;

Температура навколишнього середовища - від -10 до +60 °С;

Середній термін служби - 10 років;

Пульт складається з:

- ЦПУ фірми ATMEЛ;
- ОЗУ об'ємом 32 кБайт;
- мікросхеми інтерфейсу типу ADM241 (DD2) або ADM485 для узгодження рівня ТТЛ процесора з інтерфейсом RS485 відповідно;
- джерела живлення на базі мікросхеми LT1173-5;
- регістра з SPI інтерфейсом для сканування клавіатури і управління LCD. ЦПУ управляє обміном із зовнішніми пристроями, сканує клавіатуру і виводить інформацію на рідкокристалічний дисплей. Рідкокристалічний дисплей має два рядки по 20 символів. Клавіатура, що підключається, має 24 клавіші: 6 скан-линий * 4 лінії даних. При натисненні на будь-яку клавішу формується переривання INT0 на ЦПУ. ОР - 04 дозволяє управляти LCD на базі контролера HD44780 фірми HITACHI. У ОР-04 використаний 4-х бітовий інтерфейс зв'язку з модулем LCD. ОР-04 сполучається із зовнішнім пристроєм за допомогою RS485 інтерфейсу. У першому випадку встановлюється мікросхема (ADM241), в другому - (ADM485).

У відповідність з технологією роботи парового казана і технічними даними системи автоматизації Мікроконт - Р2 приймаємо до установки наступні модулі:

- модуль процесора CPU-320DS;
- модуль дискретного введення/виводу - Vi/o16 DC24; модуль аналогового
- введення - Ai-NOR/RTD 254;
- пульт оператора ОР-04.

Для забезпечення контролю за роботою котельних агрегатів контроллери сполучаємо в локальну мережу по протоколу RS-485 на верхньому рівні, якого знаходиться ІВМ сумісний комп'ютер, зі встановленою Windows і програмою СТАЛКЕР призначеною для збору даних, контролю і управління системою автоматизації.

Системою СТАЛКЕР забезпечується:

- контроль несанкціонованого доступу до управління і інформації станції;
- управління введенням/виводом даних польового рівня, що поступають з локальної мережі;
- робота системи контролю і управління в реальному часі;
- перетворення сигналів польового рівня в події точок контролю системи;
- динамічна інтеграція нових пристроїв під час експлуатації системи;
- сигналізація несправності локальної мережі або пристроїв збору даних і фіксація невірогідності даних;
- можливість резервування каналів зв'язку і захисту від збоїв;
- можливість резервування комп'ютерів;
- можливість підключення клієнтів до робочої станції за допомогою мережі EtherNet; Обробка даних польового рівня;
- динамічне управління (включення/виключення) обробкою даних;
- трансляція апаратних значень польового рівня, що поступають з локальної мережі, у фізичні значення точок контролю;
- контроль достовірності значень точок контролю;
- аналіз рівня тривоги точок контролю;
- обчислення і аналіз значень точок контролю по заданих алгоритмах управління, що забезпечують виконання математичних, логічних, спеціальних функцій;
- реєстрація;
- динамічне управління (включення/виключення) реєстрацією;
- безперервна реєстрація послідовності подій всіх точок контролю;
- безперервна реєстрація тенденцій зміни середніх значень аналогових даних в широких тимчасових діапазонах;
- реєстрація непередбачених або планованих ситуацій для подальшого аналізу з використанням нерівномірної шкали часу;

- реєстрація історії перебігу технологічного процесу і довготривале збереження її в архіві.

3.4 Розробка графічного інтерфейса з користувачем

Оперативне представлення процесу на деталізованих малюнках, що дозволяють спостерігати і втручатися в процеси в реальному часі. Зображення розміщуються на пультах і панелях, що представляються у вигляді стандартних вікон Windows. Управління вікнами пультів і панелей (відкриття, закриття, робота з меню, введення текстів, переміщення і так далі) здійснюється з використанням стандартного інтерфейсу Windows

Пульт - графічна віконна форма, що включається функціональною клавішею з алфавітно-цифрової клавіатури або графічною клавішею з іншого пульта або панелі.

Панель - графічна віконна форма, що належить по технологічному або якому-небудь іншій ознаці пульта і що включається тільки графічною клавішею з пульта або іншої панелі.

Управління автоматизованої системи здійснюється з використанням SCADA-системи Simple-SCADA.

Simple-SCADA - це програмний продукт, призначений для розробки та забезпечення збору, обробки, відображення та зберігання даних у режим реального часу. Алгоритм управління автоматизованою системою виконаний серед розробки CoDeSys v.3.5.

На рисунку 3.3 представлена екранна форма управління блочно-модульною газовою котельні установки.

Відображення значень технологічних параметрів здійснюється в відповідно до функціональної схеми автоматизації блочно-модульної газової котельні.

У правій частині екранної форми розташовуються елементи управління, де задається температура подачі котлового контуру, здійснюється ручне

відкриття та закриття приводів та включення насосних апаратів. У самому низу розташовується кнопка аварійної зупинки котельні.

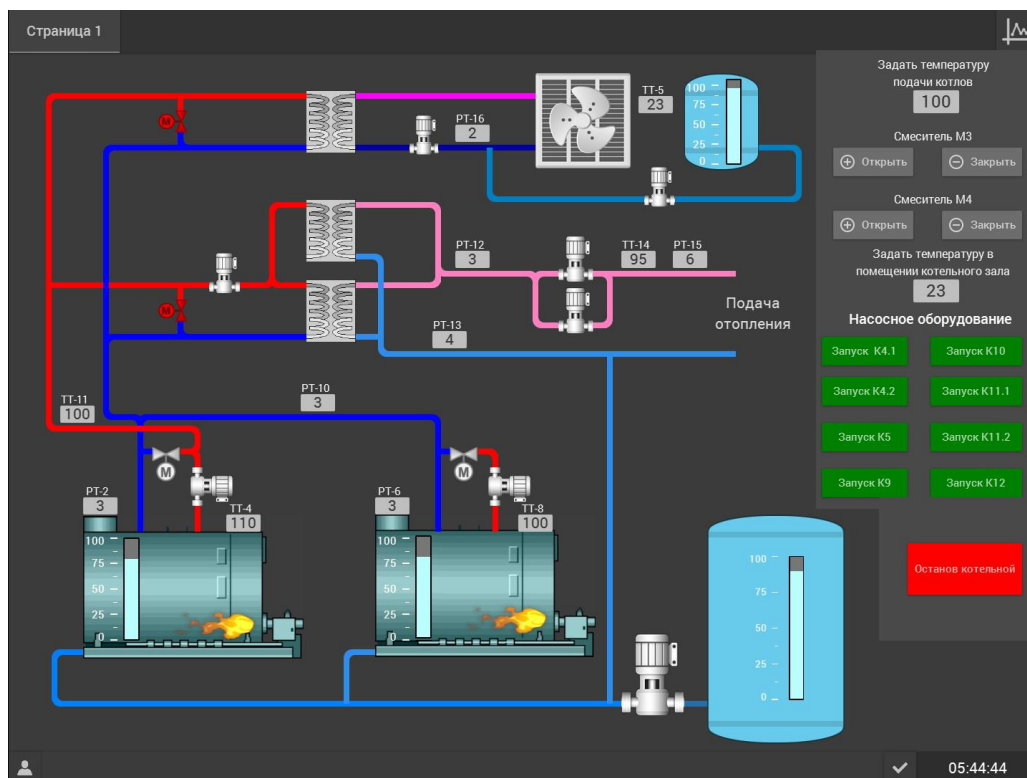


Рисунок 3.3 - Екранна форма управління блочно-модульною газовою котельною установкою

Представлення тенденцій зміни середніх значень аналогових даних на панелях у вигляді гістограм і графіків.

Уявлення на панелях списків подій і поточних станів точок контролю. Сигналізація про відхилення від нормального перебігу процесу

Друк даних системи і графічних форм, що відображаються на пультах і панелях.

Підтримка тих, що існують і проектування нових графічних панелей під час експлуатації системи.

Мнемонічна схема роботи котла №1 наведена на рисунку 3.4.

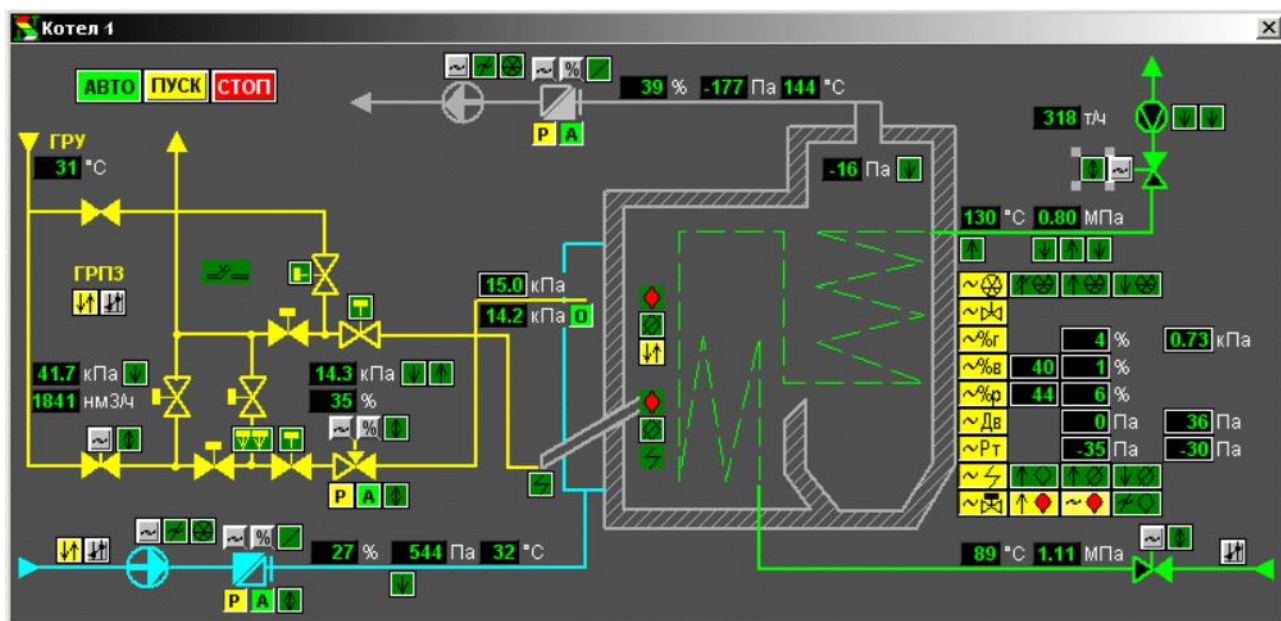


Рисунок 3.4 - Мнемонічна схема роботи котла №1

Висновки: В даному розділі була розроблена структурна схема САУ блочно-модульної котельні установки на базі програмування мікроконтролера БАУ-ТП-1. Розроблено інтерфейс системи автоматизації для оператора. Початкове введення вхідних даних до системи робить розроблену систему управління достатньо гнучкою і дає можливість швидко підлаштувати її під умови виробництва, а також проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому. Розроблена панель оператора АСУ ТП дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації. Наведено мнемосхему управління котлом і екранну форма управління блочно-модульною газовою котельні установки.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

4.1 Розробка структури SCADA- системи

З метою забезпечення високої якості регулювання системи, а також візуалізації перехідного процесу даної системи використана SCADA система, що дозволяє здійснити процес збору інформації в режимі реального часу з віддалених об'єктів для їх управління та аналізу отриманих даних.

Сучасні SCADA системи включають до свого складу три основні компоненти, структура яких зображена на рисунку 4.1, і виконують наступні функції:

1. Віддалений термінал здійснює обробку завдання в режимі реального часу.

2. Диспетчерський пункт здійснює обробку даних і управління високого рівня в режимі реального часу; забезпечення інтерфейсу між людиною-оператором і системою.

3. Комунікаційна система необхідна для передачі даних з віддалених об'єктів, терміналів на центральний інтерфейс оператора диспетчера і передачі сигналів управління на диспетчерський пункт.

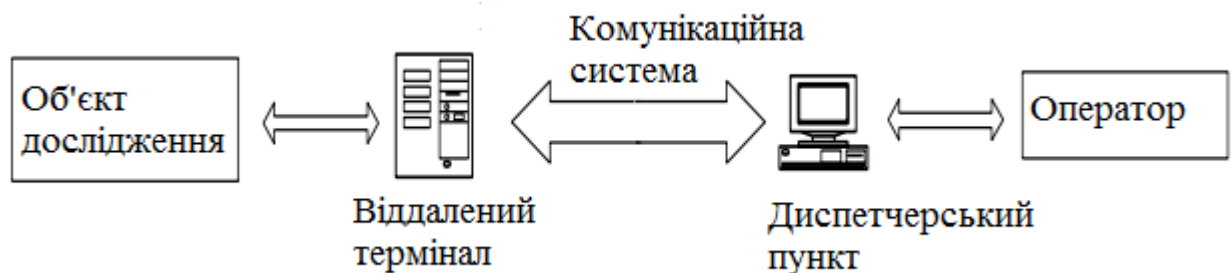


Рисунок 4.1 - Основні структурні компоненти SCADA системи

Віддаленим терміналом в досліджуваній системі є мікроконтролер БАУ-ТП-1, який здійснює обробку завдання по засобам написаної програми на мові програмування C ++, комунікаційною системою, що здійснює обмін даними між

віддаленим терміналом і диспетчерським пунктом, є Modbus Universal MasterOPC сервер, який використовує для роботи найбільш поширений протокол обміну в промисловості Modbus. [8] Комп'ютер, що виконує функції диспетчерського пункту, оснащений пакетом програм MasterSCADA, який побудований на клієнт-серверній архітектурі з можливістю функціонування в локальних і глобальних мережах. Прийом і передача у даному пакеті відбувається на основі стандартів OPC, таких як HTML, OLE, ODBC, COM / DCOM, ActiveX і інші.

Істотною перевагою обраного SCADA-пакета є його забезпечення всіх необхідних можливостей для стикування із зовнішніми програмами і системами, а також надання користувачам його безкоштовної ліцензійної версії в розмірі 32-точок виконання на офіційному сайті inSAT, що є достатнім для роботи з досліджуваною системою.

4.2 Встановлення зв'язку між мікроконтролером і SCADA-системою

Оскільки основним завданням використання SCADA пакету в даній роботі є регулювання температури в БМК, то розробляється програма має здійснювати настройку коефіцієнтів для ПІ-закону регулювання; корекцію уставки температури; відображення стану відключення і включення реле котла і реле-вентилятора; відображення вхідних значень температури, вихідного сигналу з ПІД-регулюванням і ШІМ-модуляцією в вигляді трендів.

Для забезпечення поставлених завдань і встановлення зв'язку між платою БАУ-ТП-1 і MasterSCADA в розробляється код і в MasterOPC сервері, що представляє собою комунікаційний стандарт, підтримує взаємодію між польовими пристроями, контролерами і додатками пакета Master, виділені наступні змінні, які представлені в таблиці 3. Встановлено зв'язок з портом, до якого підключений мікроконтролер, швидкість опитування рівна 115200, оскільки реєстрація показань на платі відбувається з такою ж частотою, час

відповіді і період опитування, рівні 500 мс, таким чином, завершена настройка OPC сервера.

З метою перевірки працездатності написаної програми, код завантажений в мікроконтролер, конфігурація для досліджуваної системи запущена, а в пакеті MasterOPC можна спостерігати процес обміну даними між датчиком температури і OPC сервер через мікропроцесорну плату на основі зміни прийнятих значень і якості передачі (рисунок 4.2).

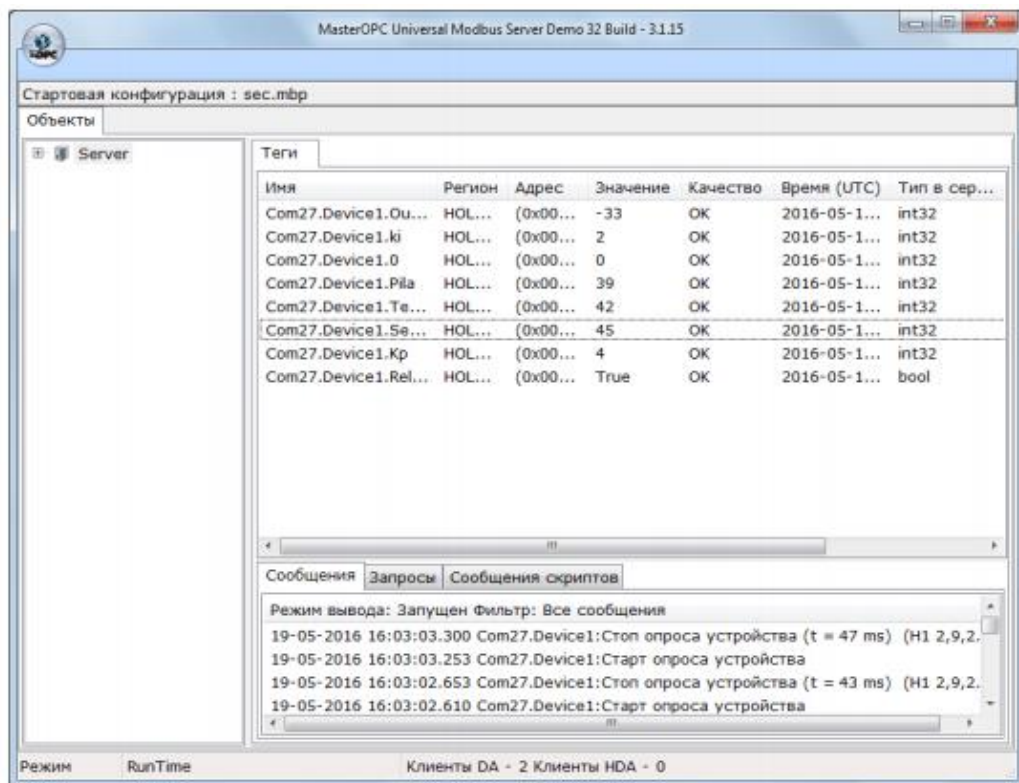


Рисунок 4.2 - Процес обміну даними між мікроконтролером і OPC сервером за коштами програми MasterOPC

4.3 Відображення технологічного процесу в режимі реального часу

Оскільки на виробництві безпека управління через SCADA-системи здійснюється за рахунок видалення оператора від пульта технологічного процесу, розмежуванням прав доступу, шифруванням, секретністю протоколів зв'язку, а також застосуванням між мережевих протоколів, то невід'ємною

завданням для розробника таких систем залишається детальна візуалізація технологічного процесу, яка допоможе оператору коректно керувати системою.

Основними засобами візуалізації в SCADA-пакетах є тренди, графічні індикатори, задатчики і відображення значення якихлибо величин, а також кнопки, що дозволяють переміщатися між об'єктами мнемосхем. За допомогою тренда, який в режимі реального часу дозволяє відстежити зміну значень температури, визуализирован ШІМ-сигнал, процес зміни перехідного процесу в залежності від зміни коефіцієнтів регулятора, уставки, які задаються оператором, а також стан працездатності котла.

На основі конфігураційного файлу, який зв'язує OPC сервер і мікропроцесорну плату БАУ-ТП-1, в пакеті MasterSCADA вставлені змінні в розроблений проект, які містяться в таблиці 4.1, і з допомогою елементів палітри, описаних вище, розроблений проект, виконують функції регулювання і візуалізацію технологічного процесу, представлений на рисунку 4.3.

Таблиця 4.1 - Перелік змінних, що відповідають за подання інформації в пакеті SCADA

Назва змінної	Регістр контролера	Тип	Тип доступу	Призначення
Temperature	HOLDING_REGISTERS[4]	Real	ReadOnly	Зберігання показань з датчика температури
Pila	HOLDING_REGISTERS[3]	Double (float)	ReadOnly	Формування ШІМ-сигнала
ki	HOLDING_REGISTERS[1]	Double (float)	ReadOnly	Коефіцієнт постійного інтегрування
Output	HOLDING_REGISTERS[2]	Double (float)	ReadOnly	Сигнал ПІД-регулювання
Setpoint	HOLDING_REGISTERS[5]	Double (float)	WriteOnly	Уставка температури
kp	HOLDING_REGISTERS[6]	Double (float)	WriteOnly	Коефіцієнта передачі регулятора
Relay3State	HOLDING_REGISTERS[7]	Bool (boolean)	ReadOnly	Стан реле котла

4.4 Розробка програмного забезпечення

```

int ledpin=13;
// підключення світлодіода для перевірки працездатності програми
int lm335=0;
// оголошення типу змінних для свідчень з датчика і його підключення до
аналогового входу A0
void setup()
{
Serial.begin(9600);
pinMode(ledpin, OUTPUT);
}
void loop() { double val = analogRead(lm335);
// зчитування показань з датчика
double voltage = val*5.0/1024;
// перетворення показань в одиниці виміру напруги (В)
Serial.print(" VALUE V: ");
Serial.println(voltage);
// висновок значень поточного напруги
double temp = voltage*100 - 273.15;
// перетворення показань в одиниці виміру температури
(°C) Serial.print(" VALUE T: ");
Serial.println(temp);
// висновок значень поточної температури
delay(2000);
// інтенсивність фіксації показань
}

```

Програмна реалізація налаштування ПД-регулятора:

```
#include
```

```

// підключення стандартної бібліотеки ПІД-регулятора
double Setpoint, Input, Output;
double Kp=15, Ki=0.5, Kd=0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
// вбудована функція ПІД-регулювання
boolean ZPID; int SampleTime=100;
void setup()
{
Serial.begin(115200);
Input = analogRead(A0)/13;
// зчитуємо показання температури з датчик
Setpoint = 50;
// завдання значення температури в якості уставки
myPID.SetOutputLimits(-255, 255);
// кордони вихідного сигналу для ПІД-регулятора
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
//встановлює автоматичне включення ПІД-регулятора
myPID.SetSampleTime(SampleTime);
}
// задає частоту розрахунку вихідного сигналу
void loop()
{
ZPID=myPID.Compute();
}
//зчитуємо вихідний сигнал ПІД-регулятора

Програмна реалізація ШІМ-сигналу:
double Pila=0;
// змінна для зберігання значення
unsigned long now;

```

```
unsigned long lastPilaChange = 0;
unsigned long lastSerialOutput = 0;
bool Relay3State = false;
bool Relay4State = false;
bool isPWMChanged = false;
// зміна пилки
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(ledpin, OUTPUT);
  pinMode(Relay4, OUTPUT);
  pinMode(Relay3, OUTPUT);
}
void loop() now = millis();
if (now - lastPilaChange >= 100)
{
  Pila=Pila+3;
  if (Pila>=255) {Pila=0; isPWMChanged = false;
}
  lastPilaChange = now;
}
if (now - lastSerialOutput >= 1000)
{
  lastSerialOutput = now;
  if (Pila >= Output)
  {
    if (Relay3State == LOW)
    {
      digitalWrite(Relay3, HIGH);
    }
  }
}
// ВИМИКАЄМО КОТЕЛ
```

```

isPWMChanged = true; Relay3State = HIGH;
}
}
if ((Pila < Output)
{
if (Relay4State == LOW)
{
digitalWrite(Relay4, HIGH);
// ВИМИКАЄМО КОТЕЛ
isPWMChanged = true;
Relay3State = HIGH;
}
}
if ((Output <= 0) && (-Pila > Output) && (isPWMChanged == false))
{ digitalWrite(Relay3, HIGH); digitalWrite(Relay4, LOW);
}

```

Програмна реалізація фільтра експоненціального згладжування:

```

double gamma = 0.002;
double y1 = 0;
void loop()
{
double val = (double)analogRead(Im335)*500.0/1024.0-273.15;
y1 = gamma * val + (1 - gamma) * y1;
Input = y1;
}

```

Програмна реалізація передачі даних між OPC сервером і мікроконтролером БАУ-ТП-1:

```

#include
// підключення стандартної бібліотеки OPC сервера
HOLDING_REG_SIZE=8

```

```

// вводим кількість каналів
unsigned int
HOLDING_REGISTERS[HOLDING_REG_SIZE]; 78
// задається масив розміру регістра
modbus_configure(&Serial, 115200, SERIAL_8N2, 1, 2,
HOLDING_REG_SIZE, HOLDING_REGISTERS);
// вводим швидкість опитування, вага переданих даних дорівнює 8 біт,
один з яких старт-біт, а два стоп-біти
modbus_update_comms(115200, SERIAL_8N2, 1);
modbus_update();
HOLDING_REGISTERS[2]=Relay3State;
HOLDING_REGISTERS[1]=Input;
HOLDING_REGISTERS[2]=Output;
HOLDING_REGISTERS[3]=Pila;
HOLDING_REGISTERS[4]=val;
Setpoint=HOLDING_REGISTERS[5];
Kp=HOLDING_REGISTERS[6];
HOLDING_REGISTERS[7]= Relay3State;

```

Висновки. В даному розділі була розроблена SCADA система для автоматизованого регулювання температури в блочно-модульній котельні, яка включає функції дистанційного керування системою на базі мікроконтролера БАУ-ТП-1 на основі розрахованих показників ПД-закону регулювання, а також представляє наочну візуалізацію технологічного процесу оператору системи. Досліджувана система може стати недорогою прикладної моделлю, яка виконує основні функції і дозволяє провести аналіз основних характеристик технологічного процесу та налаштування необхідних параметрів системи без значних витрат і зусиль.

5 ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ САУ

5.1 Оцінка надійності розробленої САУ

Для розрахунку надійності САУ виділяємо такі функції:

- інформаційну;
- регулюючу;
- захисну.

Вимоги до надійності реалізації функцій САУ.

Структурна схема надійності складається для кожної функції САУ. У розрахунку варто виділити первинну інформаційну, первинну керуючу і первинну захисну функцію. Рівень надійності виконання функцій АСУ ТП повинен задовольняти наступним вимогам:

- середній наробіток на відмовлення по кожній з функцій ≥ 20000 год.;
- середній час відновлення по кожній з функцій < 2 год.;
- коефіцієнт готовності по кожній з функцій $\geq 0,988$.

Задачею розрахунку є порівняння розрахованого показника надійності із заданим. Якщо розрахований показник надійності менший від заданого показника, треба зарезервувати найменш надійні елементи САУ.

Показником надійності інформаційної функції являється середнє напрацювання на відмову $T_{\text{сер}}$, або ймовірність безвідмовної роботи P_6 . Така умова являється достатньо жорсткою, так як при відмові інформаційної функції інформація безповоротно втрачається та при відновленні працездатності функції не може бути відновлена.

До керуючої функції висуваються менш жорсткі умови, тому її надійність характеризується $T_{\text{сер}}$, середнім часом відновлення $T_{\text{в}}$ та ймовірністю без відмовної роботи за час τ з урахуванням відновлення відмовляючої функції $P_c(\tau)$.

Складемо структурні схеми надійності САУ. Як правило в структурних

схемах надійності (ССН) елементи сполучаються послідовно. Це означає, що при відмові хоч би одного з них має місце відмова всієї функції.

Кожний елемент структурної схеми надійності характеризується інтенсивністю потоку відмов λ (1/год), який являє собою середню кількість відмов елементів на годину

Значення λ_i знаходимо в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Інтенсивність відмов

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год
Термопари	27
Деталі кріплення монтажу	0,015
iG5A	1,39
ПМ12010	9,5
Модуль аналогового вводу ПЛК	13,5
Робоча станція	38

Розрахуємо загальну інтенсивність відмов, середній час напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи для кожної функції САУ за формулами (6.1) та (6.2):

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}, \quad (5.1)$$

де n - кількість елементів у структурній схемі надійності;

λ_i - інтенсивність відмов для i -го елемента схеми;

λ - загальна інтенсивність відмов.

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (5.2)$$

де $T_{\text{сер}}$ - середнє напрацювання на відмову для схеми.

Розрахунок для інформаційної функції.

Для інформаційної функції розрахуємо середнє напрацювання на відмову:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{29,5 \cdot 10^{-6}} = 34476,8 \text{ год.}$$

Ймовірності безвідмовної роботи:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\tau/T_{\text{сер}}}. \quad (5.3)$$

де P - ймовірність безвідмовної роботи за час τ .

Приймаємо: $\tau = 720$ годин (1 місяць);

$$P(\tau) = e^{\frac{-720}{34476,8}} = 0,9793.$$

Для інформаційної функції розрахуємо середнє напрацювання на відмову:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{21,67 \cdot 10^{-6}} = 46143,19 \text{ год.}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи по формулі:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\tau/T_{\text{сер}}}.$$

де P - ймовірність безвідмовної роботи за час τ .

Приймаємо: $\tau = 720$ годин (1 місяць).

$$P(\tau) = e^{\frac{-720}{46143,19}} = 0,9845.$$

Розрахунок для керуючої функції.

Для керуючої функції розрахуємо середнє напрацювання на відмову:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{45,6 \cdot 10^{-6}} = 64425,21 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(\tau) = e^{\frac{-720}{64425,21}} = 0,98853.$$

Розраховуємо ймовірність відновлення працездатності, задавши середній час встановлення працездатності $T_{\text{в}} = 2$ год та допустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої функції $T_{\text{доп}} = 6$ год:

$$P_{\text{в}} = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_{\text{в}}}} = 1 - e^{-\frac{6}{2}} = 0,9502.$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням відновлення відмовляючої функції:

$$P_c(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau)) \cdot P_{\text{в}} = 0,988 + (1 - 0,988) \cdot 0,9502 = 0,9942.$$

Розрахунок для захисної функції.

Для захисної функції розрахуємо середнє напрацювання на відмову:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{29,5 \cdot 10^{-6}} = 34476,8 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(\tau) = e^{\frac{-720}{34476,8}} = 0,9841.$$

Розрахуємо коефіцієнт готовності для захисної функції:

$$K = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{\epsilon}} = \frac{34476.8}{34476.8 + 2} = 0.9999$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі:

$$P_{оч}(\tau) = K \cdot P(\tau) = 0,9999 \cdot 0,9841 = 0,9840.$$

Надійності роботи елементів системи автоматизації становить 0,9840, що характеризує САУ як надійну і стійку систему.

5.2 Оцінка перспективності розробки

Котельні установки, за допомогою яких здійснюється опалення та постачання технологічної пари для виробничих підприємств повинні відповідати наступним критеріям:

- надійність, здатність приладів та апаратів безаварійно виконувати необхідні функції у заданих умовах;
- безпека експлуатації, здійснення захисту обладнання та приладів від аварій та надзвичайних ситуацій;
- екологічність, мінімальний негативний вплив на навколишню середовище;
- компактність, модульні водогрійні котельні, що застосовуються для постачання гарячим водопостачанням та опаленням житлових комплексів та підприємств із невеликою площею земельної ділянки точність, здатність приладів та апаратів підтримувати суворо заданий температурний графік.

Критерії оцінки блочно-модульної газової котельної установки вказані у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Оцінювальна карта технічних рішень (розробок)

Критерії оцінки	Вага критерію	Бали	Максимальний бал	Відносне значення	Середньозважене значення
Показники оцінки якості розробки					
Надійність	0,3	100	100	1	30
Безопасність експлуатації	0,3	90	100	0,9	18
Екологічність	0,2	90	100	0,9	18
Компактність	0,1	80	100	0,8	8
Точність	0,2	90	100	0,9	18
Загалом	1	450	500	4,5	92

Оцінка якості та перспективності за технологією QuaD визначається за формулі:

$$P_{cp} = \sum V_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

де P_{cp} - середньозважене значення показника якості та перспективності наукової розробки;

V_i - вага показника (у частках одиниці);

B_i - це середньозважене значення i -го показника.

$$P_{cp} = (0,3 \cdot 100) + (0,2 \cdot 90) + (0,2 \cdot 90) + (0,2 \cdot 90) + (0,1 \cdot 90) + (0,2 \cdot 90) = 30 + 18 + 18 + 8 + 18 = 92.$$

Висновки. Отже, була проведена оцінка надійності роботи елементів системи автоматизації. За результатами розрахунків ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі становить 0,9840, що характеризує САУ як надійну і стійку систему. На основі отриманих даних середньозваженого значення показника якості та перспективності наукової розробки $P_{cp} = 92$ можна зробити висновок, що розробляється автоматизована система управління блочно-модульної газової котельні є перспективною.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

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 якнайповніше 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 унеможлилювати 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 унеможлилювати 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 АСУ ТП 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 неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними, яка відповідає нормованим значенням (площа на одне робоче місце має становити не менше

ніж 6,0 м², а об'єм не менше ніж 20,0 м³). 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 загальній втомі.

6.4 Охорона навколишнього середовища

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

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

Шкідливий вплив на 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 згорання.

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 магістра 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 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Автоматизовані системи управління належать до класу людино-машинних систем. В автоматизованих систему правління, призначених для управління не лише технікою, а й людьми, чисто автоматичне управління принципово неможливе. Людина тут відіграє керівну роль при визначенні цілей управління і критеріїв його якості, остаточному виборі багатьох управлінських рішень у процесі розв'язання не повністю формалізованих задач управління, особливо таких, які вимагають творчого підходу.

Організаційне забезпечення - сукупність методів і засобів, що регламентують взаємодію працівників з технічними засобами і між собою в процесі розробки і експлуатації інформаційної системи.

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.

Організаційне забезпечення створюється за результатами перед проектного обстеження на першому етапі побудови баз даних.

Організаційне забезпечення автоматизованих систем управління - це комплекс документів, які регламентують діяльність персоналу автоматизованих систем управління в умовах функціонування. У процесі розв'язування задач управління даний вид забезпечення визначає взаємодії працівників автоматизованих систем управління з технічними засобами та між собою. Це

реалізується в різноманітних методичних і керівних документах за стадіями розробки, упровадження, функціонування і супроводження автоматизованих систем управління.

Нагромаджений досвід упровадження і використання автоматизованих систем довів порівняно високу ефективність багатьох із них, а саме прямий економічний ефект впровадження галузевих автоматизованих систем управління дав великий вплив на зміну характеру діяльності управлінського персоналу міністерств і відомств, підприємств та організацій. У результаті автоматизації процесів інформаційного обслуговування підвищилась інформованість управлінського персоналу.

7.2 Розрахунок техніко - економічних показників

У зв'язку з проектуванням системи автоматизованого управління (САУ) модульною котельною проводиться заміна застарілого устаткування на новий технічний комплекс, побудований на сучасних технічних і програмних засобах, який має значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості.

До складу проектного САУ входять 2 шафи управління (ШУ) на котел №1 и котел №2, вартістю 50000 грн. за одиницю.

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

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

де $V_{уст} = V_{шу}$

$$V_{шу} = 50000 \cdot 2 = 100000, \text{ грн.}$$

$$V_{тр} = 0,06 \cdot 100000 = 6000, \text{ грн.}$$

$$V_{зс} = 0,05 \cdot 100000 = 5000, \text{ грн.}$$

тоді сума капіталовкладень дорівнюватиме:

$$K_{об} = 100000 + 6000 + 5000 = 111000, \text{ грн.}$$

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

$$K_{САР} = K_{ДМ} + K_{ВЛ} + K_{М} \quad (7.2)$$

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).

$$K_{ДМ} = 0,05 \cdot 111000 = 5550 \text{ грн.};$$

$$K_{М} = 0,4 \cdot 111000 = 44400 \text{ грн.}$$

тоді сума капіталовкладень $K_{САУ}$ на проектування САУ буде дорівнює:

$$K_{САУ} = 5550 + 111000 + 44400 = 160950, \text{ грн.}$$

Дані обчислень приведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 - Визначення капітальних вкладень

Визначення капітальних вкладень		
Вартість придбаного обладнання	100000	грн.
Сума капіталовкладень	111000	грн.
Додаткові капіталовкладення на проектування САУ	5550	грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури	44400	грн.
Витрати на монтаж нового обладнання	160950	грн.

7.2.1 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати ($V_{САУ}$), пов'язані з обслуговуванням нової САУ 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 ($B_{ел}$);
- інші експлуатаційні витрати ($B_{ін}$).

$$B_{САУ} = B_{зп} + B_a + B_p + B_{ел} + B_{ін} \quad (7.3)$$

7.2.2 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$B_{зп} = n \cdot \Phi ОП \quad (7.4)$$

де n - чисельність обслуговуючого персоналу ($n = 5$ роб.);

$\Phi ОП$ - середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори.

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу:

$$\Phi ОП = \Phi_{зп} \cdot K_{ін}, \quad (7.5)$$

де $K_{ін} = 1,1$.

$\Phi_{зп}$ - щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на $\Phi ОП$, грн.

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

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

$H_{зп}$ - нарахування на $\Phi ОП$ складають близько 40%.

тоді

$$\Phi_{зп} = 12 \cdot 6500 \cdot (1 + 0,4) = 109200 \text{ грн.}$$

$$\text{ФОП} = 109200 \cdot 1,1 = 120120 \text{ грн.}$$

Річні витрати на зарплату обслуговуючого персоналу:

$$B_{зп} = 5 \cdot 120120 = 600600 \text{ грн.}$$

7.2.3 Амортизаційні нарахування

Величина річних амортизаційних нарахувань (B_a):

$$B_a = K_{CAУ} \cdot HA / 100 \quad (7.7)$$

де HA - річна норма амортизації на реновацію ($HA = 24\%$)

$$B_a = 160950 \cdot 24/100 = 38628 \text{ грн.}$$

7.2.4 Річні витрати на ремонт

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

$$B_p = K_p \cdot K_{CAУ} \quad (7.8)$$

Тоді

$$B_p = 0,03 \cdot 160950 = 4829 \text{ грн.}$$

7.2.5 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САУ визначаються так:

$$B_{ел} = P_{ел} \cdot T_{ф} \cdot K_з \cdot CB_{ел}^{од} \quad (7.9)$$

де $P_{ел}$ - встановлена електрична потужність САУ ($P_{ел} = 3 \text{ кВт}$);

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

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

$CB_{ел}^{од}$ - собівартість виробленого 1 кВт · год ($CB_{ел}^{од} = 11$ коп).

Тоді

$$V_{ел} = 3 \cdot 7800 \cdot 0,8 \cdot 0,0413 = 774 \text{ грн.}$$

7.2.6 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$V_{ін} = 0,25 \cdot (V_a + V_{зп} + V_p) = 0,25 \cdot (38628 + 600600 + 48289) = 161014 \text{ грн.}$$

Підставивши отримані значення, отримуємо загальну суму річних експлуатаційних витрат:

$$V_{САУ} = 161014 + 774 + 4829 + 38628 + 600600 = 660845 \text{ грн.}$$

Дані по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 - Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Розрахунок річних експлуатаційних витрат		
Експлуатаційні витрати	660845	грн.
Зарплата пурсоналу	600600	грн.
Амортизація нового обладнання	38628	грн.
Поточний ремонт нового обладнання	4829	грн.
Електроенергія на живлення нового обладнання	774	грн.
Інші експлуатаційні витрати	161014	грн.

7.2.7 Річна економія експлуатаційних витрат

Економія (Е) від проектування САУ визначається за формулою

$$E = E_{п} + E_{н} + E_{вп} - V_{САУ}, \quad (7.10)$$

де $E_{п}$ - економія від зменшення кількості пусків системи через зниження

відмов САУ, грн.;

E_H - економія у зв'язку з підвищенням надійності роботи САУ і додатковим виробленням електроенергії, грн.;

$E_{ВП}$ - економія у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби через проектування САУ, грн.;

$V_{САУ}$ - вартість річних експлуатаційних витрат.

Економія (E_{Π}) від зменшення кількості пусків системи через зниження відмов САУ визначається за виразом:

$$E_{\Pi} = (1 - K_{\text{від}}) \cdot P_{\text{в}} \cdot t_{\text{від}} \cdot c_{\text{п}} \cdot CB_{\text{ел}}^{\text{од}} / 100 \quad (7.11)$$

де $P_{\text{в}}$ - встановлена електрична потужність ($P_{\text{в}} = 10^3$ кВт);

$t_{\text{від}}$ - відрізок часу виведення САУ з мережі при його відключенні ($t_{\text{від}} = 1$ год.);

$c_{\text{п}}$ - число скорочених пусків ($c_{\text{п}} = 1$);

$CB_{\text{ел}}^{\text{од}}$ - собівартість 1 кВт · год виробленої електроенергії ($CB_{\text{ел}}^{\text{од}} = 11$ коп);

$K_{\text{від}}$ - коефіцієнт корисного навантаження за час $t_{\text{від}}$ ($K_{\text{від}} = 0,7$).

$$E_{\Pi} = (1 - 0,7) \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 11 / 100 = 33000 \text{ грн.}$$

Економія (E_H) у зв'язку з підвищенням надійності роботи САУ і додатковим виробленням електроенергії ($dE_{\text{в}}$) визначається за виразом

$$E_H = (CB_{\text{ел}}^{\text{од}} - CB_{\text{М}}^{\text{од}}) \cdot (W_{\text{в}} + dW_{\text{в}}) / 100, \quad (7.12)$$

де $dW_{\text{в}}$ - додаткове вироблення електроенергії;

$$dW_{\text{в}} = P_{\text{уст}} \cdot h_{\text{пр}},$$

$h_{\text{дод}}$ - тривалість простою, ($h_{\text{дод}} = 50$ год.);

$$dW_B = 10^3 \cdot 50 = 50000 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $CBM_{\text{ел}}^{\text{од}}$ - собівартість 1 кВт · год з урахуванням додаткової роботи системи після проектування САУ визначається за виразом:

$$BM_{\text{ел}}^{\text{од}} = CB_{\text{ел}}^{\text{од}} (1 - A_{\Pi} \cdot (1 - W_B / (W_B + dW_B))),$$

де A_{Π} - доля умовно-постійних витрат в собівартості 1 кВтгод.

$$A_{\Pi} = 1 - B_{\Pi} / CB_{\Pi},$$

$$B_{\Pi} = 167,83 \cdot 10^3 \text{ грн},$$

$$CB_{\Pi} = 193,3 \cdot 10^3 \text{ грн},$$

$$A_{\Pi} = 1 - 167,83 \cdot 10^3 / 193,3 \cdot 10^3 = 0,132$$

$$W_B = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$CBM_{\text{ел}}^{\text{од}} = 11 \cdot (1 - 0,132 \cdot (1 - 7,8 \cdot 10^9 / (7,8 \cdot 10^9 + 50 \cdot 10^6))) = 10,96 \text{ коп.}$$

Тоді

$$E_H = (11 - 10,96) \cdot (7,8 \cdot 10^6 + 50 \cdot 10^3) / 100 = 31400 \text{ грн.}$$

Економія ($E_{\text{вп}}$) у зв'язку зі скороченням витрат електроенергії на власні потреби через проектування САУ визначається за виразом:

$$E_{\text{вп}} = (CP_{\text{ел}}^{\text{од}} - CPM_{\text{ел}}^{\text{од}}) / 100 \cdot WM_p, \text{ грн.} \quad (7.13)$$

де WM_p - річний обсяг реалізованої ел.енергії зі скороченими витратами на власні потреби на 5%:

$$WM_p = W_B \cdot (1 - qM_{\text{САУ}}^{\text{вп}} / 100), \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

де

$$q_{M^{BP}}_{CAU} = 0,8 q^{BP}_{CAU},$$

$$q^{BP}_{CAU} = 4,22\%.$$

$$WM_p = 7,8 \cdot 10^9 \cdot (1 - 3,376/100) = 7,53 \cdot 10^9, \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Підставляючи числові значення, розрахуємо економію (E) від проектування САУ:

$$E = 31400 + 33000 = 64400 \text{ грн.}$$

Приріст чистого прибутку визначається:

$$d\Pi = K_e \cdot E, \text{ грн.}, \quad (7.14)$$

де K_e - коефіцієнт економічної ефективності ($K_e = 0,7$).

$$d\Pi = 0,7 \cdot 64400 = 45080 \text{ грн.}$$

Термін окупності додаткових капіталовкладень ($dK = K_{CAU}$) визначається:

$$T_{ок} = K_{CAU} \cdot (1 + \alpha_a + \alpha_p + \alpha_{зсв}) / d\Pi, \quad (7.15)$$

де α_a - додаткові начислення на амортизацію ($\alpha_a = 0,14$);

α_p - додаткові начислення на поточний ремонт ($\alpha_p = 0,01$);

$\alpha_{зсв}$ - доля загально станційних витрат, визначена додатковими капіталовкладеннями ($\alpha_{осб} = 0,05$).

$$T_{ок} = 160950 \cdot (1 + 0,14 + 0,01 + 0,05) / 45080 = 4,3 \text{ року.}$$

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

Термін окупності проекту - 4,3 року, свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін. За рахунок наявності постійної складової собівартості електроенергії, загальна собівартість електроенергії збільшується при зменшенні річного енергокористування.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу з використанням методів синтезу багатовимірних систем управління побудована структура системи автоматизованого управління блочно-модульної котельної і розроблена функціональна схема автоматизації об'єкту. Забезпечення вирішення завдань, що ставляться перед системою керування, здійснюється на базі вибраних засобів контролю, регулюючих органів, виконавчих механізмів та мікропроцесорних засобів.

В першому розділі випускної кваліфікаційної роботи магістра розглянуто принцип роботи модульної котельної, принципи оптимального управління котельною установкою та сформульовані основні задачі розробки АСУ ТП модульної котельної, яка працює на природному газі.

При проектуванні опалювальних котельних установок, з метою оптимізації структури системи управління і розрахунку параметрів регуляторів, були розроблені математичні моделі системи з багатьма зв'язками управління контурами котлоагрегата модульної котельної. Для дослідження процесів, що протікають в контурах управління були використані підсистему Simulink пакета Matlab. В другому розділі ВКР Отримані результати моделювання цілком задовольняють якості регулювання. Проведена ідентифікація параметрів математичної моделі об'єкту керування та моделювання процесів регулювання в середовищі MatLab Simulink дозволили налаштувати параметри ПД регулятора, який забезпечує пере регулювання не більше 7%, стійкість до збурень 2%. Час перехідного процесу складає 30 с. Час перерегулювання 3,33 с. Після дії ступінчастої дії на 55 с час перехідного процесу складає 18 с, а отже система задовольняє прямим і непрямим показником якості.

В третьому розділі ВКР була розроблена структурна схема САУ блочно-модульної котельної установки на базі програмування мікроконтролера БАУ-ТП-1. Розроблено інтерфейс системи автоматизації для оператора. Початкове введення вхідних даних до системи робить розроблену систему управління достатньо гнучкою і дає можливість швидко підлаштувати її під умови

виробництва, а також проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому. Розроблена панель оператора АСУ ТП дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації. Наведено мнемосхему управління котлом і екранну форма управління блочно-модульною газовою котельні установки.

В четвертому розділі ВКР була розроблена SCADA система для автоматизованого регулювання температури в блочно-модульній котельні, яка включає функції дистанційного керування системою на базі мікроконтролера БАУ-ТП-1 на основі розрахованих показників ПІД-закону регулювання, а також представляє наочну візуалізацію технологічного процесу оператору системи. Досліджувана система може стати недорогою прикладної моделлю, яка виконує основні функції і дозволяє провести аналіз основних характеристик технологічного процесу та налаштування необхідних параметрів системи без значних витрат і зусиль.

В п'ятому розділі ВКР була проведена оцінка надійності роботи елементів системи автоматизації. За результатами розрахунків ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі становить 0,9840, що характеризує САУ як надійну і стійку систему. На основі отриманих даних середньозваженого значення показника якості та перспективності наукової розробки $P_{\text{ср}} = 92$ можна зробити висновок, що розробляється автоматизована система управління блочно-модульною газовою котельні є перспективною.

Також подані рекомендації що до охорони праці, що відповідають законодавству України. А також проведено техніко-економічні розрахунки. Термін окупності проекту - 4,3 року, свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін. За рахунок наявності постійної складової собівартості електроенергії, загальна собівартість електроенергії збільшується при зменшенні річного енергокористування.

Наведені методи синтезу багатовимірних систем управління можуть застосовуватися як для технічних, так і для технологічних об'єктів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України: Закон України від 26.06.1996 р. № 254к/96-ВР
Редакція від: 01.01.2020. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#>.
2. Закон України «Про охорону праці» : Закон України № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р. Редакція від 19.08.2022. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12>.
3. ГОСТ 12.0.003-74* Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Введ. 1976-01-01]. М. : Госстандарт СССР, 1974. 4 с.
4. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.
5. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>.
6. 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. Режим доступу: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>.
7. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Правила)
8. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
9. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устроювання електроустановок, затв. Міненерго СРСР

06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. К. : Мінпраці України, 2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01/card2#Card>.

10. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с.

11. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с.

12. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с.

13. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>.

14. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

15. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

16. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

17. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с.

18. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с.

19. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с.

20. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с.

21. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с.

22. Автоматика и автоматизация технологических процессов: Підручник / Т.Б. Головка, К.Г. Рего, Ю.О. Скрипник. - К.: Лебідь, 2017. 232 с.

23. Авраменко В.С., Авраменко А.С. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник / В.С. Авраменко, А.С. Авраменко. - Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

24. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: справочник/ Под ред. Тимофеева Б.Б. Киев: Техника, 1983. 351 с.

25. Анзимиров Л. В. SCADA TRACE MODE - новые технологии для современных АСУТП // Автоматизация в промышленности. 2007. № 4. 113 с.

26. Берсенев И. С.. Автоматика опалювальних казанів і агрегатів. Стройиздат. 2016. 233 с.

27. Ветров И.В. CoDeSys - повседневный инструмент программиста ПЛК// Автоматизация в промышленности, № 8, 2012. 45 с.

28. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: <http://wikipage.com.ua/1x400f.html> (дата звернення: 13.11.2022).

29. Волков М.А., Волков В.А., Левин Л.Я. Монтаж, наладка і експлуатація автоматики газифікованих котелень. - К., 2015. 240 с.

30. Герасименко І.Е., Герасименко А.І., Герасименко В.І. Довідник інженера по пуску, наладки і експлуатації котельних установок. - К.: Техника, 2016. - 335 с.

31. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник/ І.В.Ельперін - К.: НУХТ, 2013. 320 с.

32. Зиков А.К. Парові і водогрійні котли. - К.:, 2017. 128 с.

33. Каминский В. М. Монтаж систем автоматизації котельних. - К.: Енергія, 2017. 256 с.

34. Кисельов Н.А. Котельні установки. - К.: Вища школа, 2015. 280 с.

35. Кустов К.І., Шершевер М.А. Автоматичне регулювання і регулятори. - М.: Металургія, 2007. 180 с.

36. 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.

37. 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.

38. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Метод.вказівки до вик. курс. проекту для студ. спец. 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» ден. та заоч. форм навчання /Уклад.: К.С. Архангельська, О.Й.Рішан. - К.: НУХТ, 2005. 223 с.

39. Методичні вказівки до практичних занять з кредитного модуля «Електричні системи керування» навчальної дисципліни «Технічні засоби автоматизації - 2» для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» по спеціалізації «Автоматизація хімікотехнологічних процесів і виробництв» [Текст] / Укладач, В. М. Ковалевський, // - К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. 60 с.

40. Метрологія, інформаційно - вимірювальна техніка та цифрова обробка сигналів. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/05/5.pdf> (дата звернення: 13.11.2022).

41. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація так комп'ютерно-інтегровані технології» /Ніколаєнко А.М.; Запоріж. держ. інж. акад. - Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 34 с.

42. Мочалін В.Н., Кочнев Н.В. Моделювання та дослідження систем автоматичних управління з використанням ПЕОМ: Учеб. посібник. - Череповець: ЧГП, 2005. 178 с.

43. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. - К.: Основа, 2006. 448 с.

44. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: Метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч./ Уклад.: В.Г. Трегуб. - К.:НУХТ, 2008. 67 с.

45. 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, - К.: НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

46. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: <http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html> (дата звернення: 15.11.2022).

47. 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. - К.: НУХТ, 2007. 162 с.

48. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: Навч. посібник - К.: НМК ВО, 2015. 80 с.